

**PENGARUH PARAMETER PROSES 3D PRINTING  
TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN  
MENGUNAKAN FILAMENT ESUN PLA+,  
MENGUNAKAN METODE TAGUCHI**

**PROYEK AKHIR**

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



Disusun oleh :

**BERLIAN ADINATA NIM. 1041727**

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI**

**BANGKA BELITUNG**

**TAHUN 2020**

## LEMBAR PENGESAHAN

### PENGARUH PARAMETER PROSES 3D *PRINTING* TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN MENGGUNAKAN FILAMENT ESUN PLA+, MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI

Oleh:

Berlian Adinata      NIRM: 1041737

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

Menyetujui,

Pembimbing 1



Hasdiansyah, S.S.T., M.Eng.,

Pembimbing 2



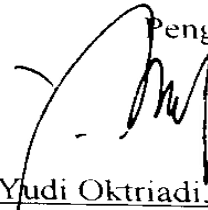
Zaldy SirwansyahSuzen, S.T., M.T.,

Penguji 1



Erwansyah, S.S.T., M.T.

Penguji 2



Yudi Oktriadi, S.Tr., M.Eng

## PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Berlian Adinata NIRM: 1041737

Dengan Judul : PENGARUH PARAMETER PROSES 3D PRINTING  
TERHADAP KEKASARAN MENGGUNAKAN  
FILAMENT ESSUN PLA+, MENGGUNAKAN  
METODE TAGUCHI.

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

Sungailiat, 28 Januari 2022

Nama Mahasiswa

Tanda Tangan

1. Berlian Adinata



## ABSTRAK

Saat ini teknologi rapid prototyping (RP), khususnya teknologi pencetakan tiga dimensi (3D Printing), saat ini sedang banyak dicari oleh para desainer dan telah berhasil diterapkan di banyak aspek. Teknologi 3D printing memiliki masa depan yang cerah dan masih berkembang menjadi teknologi yang mendukung bidang lain dan mendukung pekerja untuk membantu mereka dalam bekerja karena dapat mengubah inspirasi menjadi bentuk nyata. Pada penelitian ini penulis menggunakan Metode Taguchi karena Pengujian ini akan menghasilkan deretan data yang penting untuk menentukan faktor apa saja paling berpengaruh pada kualitas produk Taguchi ini bisa dihitung seberapa penting peran masing-masing parameter. Pada hasil pengujian bagian samping spesimen, dari 6 faktor yang diuji ( layer thickness, printing speed, temperatur nozzle, Type Infill, flowrate & cooling speed ) dengan 5 level untuk setiap faktor akan tetapi pengaruh dari faktor tersebut tidak signifikan. Sedangkan Pada hasil pengujian bagian atas spesimen, dari 6 faktor yang diuji ( layer thickness, printing speed, temperatur nozzle, Type Infill, flowrate & cooling speed ) dengan 5 level untuk setiap faktor dimana terdapat pengaruh kekasaran terhadap faktor tersebut, ternyata faktor ( layer thickness, Type Infill dan Cooling Speed) memberikan pengaruh yang paling besar terhadap kekasaran spesiment uji. Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan memvariasikan orientasi yang berbeda untuk analisa lebih lanjut.

**Kata kunci :** 3D, Printing, kekasaran, metode, taguchi, ESUN PLA+

## ABSTRACT

*Currently, rapid prototyping (RP) technology, especially three-dimensional printing (3D Printing) technology, is currently being sought after by designers and has been applied in many aspects. 3D printing technology has a bright future and is still developing into a technology that supports other fields and supports workers to help them in their work because it can turn inspiration into reality. In this study the authors use the Taguchi method because this test will produce a series of data that is important to determine what factors have the most influence on the quality of Taguchi products. It can be calculated how important the role of each of these parameters is. (layer thickness, printing speed, nozzle temperature, Infill Type, flow rate & cooling speed) with 5 levels for each factor but the effect of these factors is not significant. While on the test results of the upper specimen, of the 6 tested factors (layer thickness, printing speed, nozzle temperature, Infill type, flowrate & cooling speed) with 5 levels for each factor where there is an influence of roughness. on these factors it turns out that the factors (layer thickness, Type Infill and Cooling Speed) have the greatest influence on the roughness of the ESUN PLA+ filament material. This research can be developed further by varying the different orientations for further analysis.*

**Keywords :** *3D, Printing, roughness, taguchi, method, ESUN PLA+*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, berkat rahmat dan hidayah-nya penulis dapat menyelesaikan proyek akhir ini. Shalawat serta salam tercurahkan kepada baginda rasulullah SAW, kepada sahabat beserta pengikut-nya dan insyaallah kepada kita sekalian umatnya.

Selanjutnya penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penulisan ini, baik berupa dorongan moral maupun materi. Karena penulis menyakinkan tanpa bantuan dan dukungan tersebut, sulit rasa-nya bagi penulis untuk menyelesaikan penulisan ini.

Disamping itu, izinkan penulis untuk menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya Kepada :

1. Ucapan terima kasih dan penghargaan yang sangat spesial penulis hanturkan dengan rendah hati dan rasa hormat kepada ayah dan ibunda penulis tercinta, beserta keluarga yang selalu memberikan dukungan kepada penulis baik doa restu, petunjuk maupun materi.
2. Bapak Hasdiansah, S.S.T., M.Eng selaku pembimbing pertama yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing dan memotivasi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Zaldy SirwansyahSuzen, S.S.T.,M.T Selaku pembimbing kedua yang selalu meluangkan waktu kepada penulis untuk membimbing dan selalu memberikan nasehat terbaik kepadapenulis.
4. Ketua jurusan Teknik Mesin bapak Pristiansyah, S.S.T., M.Eng
5. Kepada teman seperjuangan yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini .

Penulis menyadari masih banyak kekurangan yang terdapat dalam penulisan proyek akhir ini. Oleh karena itu penulis minta maaf kepada semua pihak yang merasa kurang berkenan dengan tugas akhir ini, namun demikian penulis telah berusaha semaksimal mungkin untuk memberikan yang terbaik. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membacanya. Akhir kata penulis ucapkan terima Kasih.

Sungailiat, 28 Januari 2022

Berlian Adinata

## Daftar Isi

<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>i</b>
<b>PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>v</b>
<b>Daftar Isi .....</b>	<b>viii</b>
<b>Daftar Gambar .....</b>	<b>ix</b>
<b>Daftar Tabel .....</b>	<b>x</b>
<b>Daftar Lampiran .....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB IPENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 LATAR BELAKANG .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB IIDASAR TEORI .....</b>	<b>5</b>
2.1 <i>Filament PLA + (polyactid Acid)</i> .....	5
2.2 Mesin <i>Printer 3D</i> .....	5
2.3 Mekanisme proses 3D printing .....	6
2.3.1 <i>Modellingobjek 3D</i> .....	6
2.3.2 Proses pencetakan .....	6
2.3.3 Proses <i>finishing</i> .....	6
2.4 <i>Surface roughness</i> .....	6
2.5 Langkah-Langkah pengerjaan pada alat <i>SurfaceRoughness</i> .....	7
2.6 Uji Kekasaran .....	7
2.7 Kekasaran Permukaan .....	8
2.8 Metode Taguchi .....	9
<b>BAB IIMETODE PELAKSANAAN .....</b>	<b>11</b>
3.1 OBJEK PENELITIAN .....	11



3.2 Alat dan bahan .....	13
3.3 Proses Penelitian .....	15
3.3.1 Persiapan Alat dan Bahan .....	15
3.3.2 Menentukan parameter .....	15
Rumusan Parameter .....	15
Faktor & level Penelitian .....	16
3.3.3 Penentuan dimensi dan bentuk objek cetak.....	18
3.3.4 <i>Desain</i> Objek Penelitian .....	18
3.3.5 <i>Slicing</i> STL Spesimen dan Masukan <i>SD Card</i> ke Mesin <i>3D printing</i> .....	18
3.3.6 Proses pencetakan produk .....	18
3.3.7 Pengujian Kekasaran.....	18
3.3.8 Pengolahan data .....	19
3.3.9 Proses Pembentukan Spesimen .....	19
3.3.10 Pengujian Kekasaran .....	19
3.3.11 Analisis Data.....	20
<b>BAB IVPEMBAHASAN .....</b>	<b>21</b>
4.1 Pengambilan Data Hasil Percobaan .....	21
4.2 Pengolahan Data.....	24
4.2.3 Analisa Varian Rasio S/N .....	37
A.Data Anova Samping.....	37
B.Data Anova Bagian Atas .....	44
<b>BAB VKesimpulan dan Saran .....</b>	<b>53</b>
5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran.....	53
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>54</b>
<b>Lampiran .....</b>	<b>56</b>

## Daftar Gambar

Gambar	Halaman
2.1 Profil kekasaran permukaan .....	7
3.1 Dimensi dan Bentuk Spesimen Uji .....	11
3.2 Digram alir .....	12
3.3 Mesin 3D <i>Printing</i> .....	13
3.4 <i>Surface Roughness Tester</i> .....	14
3.5 V Blok .....	14
3.6 Holder .....	15
3.7 Dimensi dan Bentuk Spesimen Uji .....	18
3.8 Bentuk Orientasi Cetak .....	19
4.1 Grafik Rata-rata .....	24
4.2 Grafik SN .....	28
4.3 Grafik Rata-Rata .....	31
4.4 Grafik SN .....	35

## Daftar Tabel

Tabel	Halaman
3.1 Spesifikasi Mesin 3D <i>Printing</i> .....	14
3.2 Spesifikasi Filamen PLA+.....	16
3.3 Nilai Parameter Uji .....	18
3.4 Nilai Taguchi L25OA .....	18
4.1 Data Hasil Pengujian Bagian Samping .....	22
4.2 Rata-Rata.....	25
4.3 Perhitungan Rasio S/N .....	28
4.4 <i>Respon Signal to Noise</i> .....	29
4.5 Data Hasil Pengujian Bagian Atas .....	30
4.6 Rata-Rata.....	32
4.7 Perhitungan Rasio S/N .....	35
4.8 <i>Respon Signal to Noise</i> .....	37
4.9 Analisis Varian Rasio S/N .....	43
4.10 Anova .....	44
4.11 Keputusan Uji .....	44
4.12 Analisis Variasi Rasio S/N.....	51
4.13 Anova .....	51
4.14 Keputusan Uji .....	52

## **Daftar Lampiran**

Lampiran 1: Daftar Riwayat Hidup

Lampiran 2: Data Pengujian Bagian Atas

Lampiran 3: Data Pengujian Bagian Samping



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Saat ini teknologi *rapidprototyping* (RP), khususnya teknologi pencetakan tiga dimensi (*3D Printing*), saat ini sedang banyak dicari oleh para desainer dan telah berhasil diterapkan di banyak aspek. Teknologi *3D printing* memiliki masa depan yang cerah dan masih berkembang menjadi teknologi yang mendukung bidang lain dan mendukung pekerja untuk membantu mereka dalam bekerja karena dapat mengubah inspirasi menjadi bentuk nyata. Munculnya pencetakan 3D memenuhi semua kebutuhan desainer untuk mencetak desain secara digital menjadi produk. Pencetakan 3D adalah proses pembuatan objek dengan menempatkan lapisan tipis yang dibentuk secara berurutan sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Masing-masing lapisan ini dapat dilihat sebagai potongan melintang horizontal dari objek yang pada akhirnya membentuk objek 3 dimensi.

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan bahan filamen Esun PLA+, karena proses pencetakan yang relatif cepat, dan formula (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>) dapat digunakan untuk memproduksi komponen dengan resolusi tinggi, aroma yang menyenangkan dan deformasi lentur yang rendah, serta kualitas cetak yang sangat baik.

Menurut Rahman. H., et.al. (2019) melakukan penelitian tentang “Pengaruh temperatur *nozzle* dan *bottomplate* pada printer *LeapfrogCreator* 3D terhadap nilai densitas material PLA dan kekasaran permukaan produk”. Berdasarkan penelitian ini, hasil kekasaran permukaan pada penelitian ini diperoleh dengan menggunakan lem sepanjang 5.709 m pada temperatur *nozzle* 190°C dan temperatur substrat 30°C.

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan (Rahman. H., et.al, 2019), telah dipelajari “analisis awal pengaruh kekasaran permukaan yang dihasilkan printer 3D terhadap perubahan ukuran partikel amplas”. Setelah dilakukan tiga putaran

pengambilan data, didapatkan hasil nilai kekasaran permukaan ( $R_a$ ) amplas dengan ukuran partikel 1500CW paling rendah yaitu 4,392 m (N8).

Menurut Ikhwan Taufik et.al. (2020), telah dilakukan penelitian tentang pengaruh kecepatan cetak terhadap tingkat kekasaran permukaan yang disebabkan oleh pembuatan aditif filamen asam polilaktat. Pada penelitian ini, aplikasi CURA digunakan untuk menentukan kecepatan pencetakan pada saat proses slicing sebesar 60 mm/s. Namun, perubahan kecepatan cetak ini diatur pada mesin, yaitu 50% (sampel pertama), 100% (sampel kedua), dan 150% (sampel ketiga). Karena keterbatasan parameter dalam penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa jika kecepatan pencetakan ditingkatkan maka nilai rata-rata hasil pengukuran kekasaran permukaan ( $R_a$ ) cenderung meningkat.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Karuniawan et.al. (2019), "Penggunaan metode Taguchi untuk mengoptimalkan pengaruh parameter mesin *fuseddeposition modeling* (FDM) terhadap kekasaran permukaan produk". Dalam penelitian ini, metode Taguchi menggunakan parameter seperti kecepatan pencetakan, suhu pencetakan, dan tinggi lapisan. Dari penelitian ini ditemukan bahwa tinggi lapisan memberikan kontribusi paling besar, diikuti oleh suhu pencetakan, diikuti oleh kecepatan pencetakan.

Menurut Mohammad S. Alsoufi (2018), "Kinerja kekasaran permukaan bagian yang dicetak yang diproduksi oleh printer 3D *desktop* FDM" dipelajari. Selama pekerjaan cetak, diameter *nozzle*, tinggi lapisan, suhu *nozzle*, dan kecepatan pencetakan diatur masing-masing ke 0,3 mm, 0,1 mm, 220°C, dan 30 mm/s. Menurut hasil eksperimen data lebih dari 10 mm yang diperoleh dari profil pemindaian dan arah pengukuran 90° (tegak lurus terhadap arah bangunan), bahan filamen PLA menunjukkan perilaku permukaan yang sangat baik dan ternyata lebih akurat, sedangkan ABS menunjukkan permukaan tinggi Kasar dan bergelombang. Dan perilaku utama. Baik PLA dan ABS+ menunjukkan sifat permukaan yang baik.

Berdasarkan penelitian yang telah diselesaikan, Pristiansyah et.al. (2019) melakukan penelitian tentang "Optimasi Parameter Proses 3D *Printing*FDM

menggunakan filamen Eflex”. Pada penelitian ini parameter proses yang digunakan adalah *flowrate*, *layer thickness*, *nozzle temperature*, *printingspeed*, *overlap* dan *fanspeed*. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah parameter proses terbaik untuk mendapatkan akurasi dimensi X adalah *flowrate*110%, *layer thickness*0,10 mm, *nozzle temperature*210°C, *print speed*40 mm/s, *overlap*75% dan *fanspeed*50%. Untuk dimensi Y adalah *flowrate*120%, *layer thickness*0,20mm, *nozzle temperature*230°C, *printspeed*30mm/s, *overlap*75% dan *fanspeed*100%.

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian tentang “Pengaruh Parameter Proses 3D *Printing* Terhadap Kekasaran Permukaan Menggunakan Filament ESUN PLA+, Menggunakan Metode Taguchi”.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu: Bagaimana pengaruh perubahan parameter proses *3D printing* terhadap hasil dari pengujian kekasaran pada material PLA +.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu: Untuk mengetahui hasil dari uji kekasaran permukaan berdasarkan parameter yang disetting pada *slicingsoftware*.

## **1.4 Batasan Masalah**

1. Material plastik jenis ESUN PLA+ dengan diameter 1,75 mm.
2. Mesin *3D printing* DIY model Anet A8 plus pro dengan *printing volume* XYZ 300 mm x 300 mm x 350 mm
3. Diameter *nozzle* 0,4 mm

## **1.5 Manfaat Penelitian**

1. Untuk menambah ilmu bagi setiap pembaca, terutama dalam dunia Teknik mesin yang berkaitan dengan pemilihan suatu bahan filament dan uji kekasaran.

2. Sebagai referensi bagi peneliti selanjutnya, dan bisa menambahkan ide-ide yang lain.
3. Agar lebih mudah dalam mendalami dan memahami tentang filament PLA + serta pengujian nya.





## **BAB II**

### **Dasar Teori**

#### **2.1 Filament PLA + (polyactidAcid )**

*Poli* (asam laktat) atau *polyactidacid* (PLA+) merupakan *Poliester alifatik termoplastik biodegradable* dan *bioaktif* yang berasal dari sumber terbaru. PLA+ tidak selaras dari polimer termoplastik yang berasal dari distilasi serta polimerisasi cadangan minyak bumi yang terbaru, PLA+ lebih dikenal menjadi *bioplastik* yang asal dari biomassa, sumber daya yg ramah lingkungan, mirip jagung serta tebu.

Kelebihan *polyactidacid* (PLA+) bersifat *biodegradable* serta *bioaktif* yang mempunyai kemiripan menggunakan *polypropylene* (PP), *polyethylene* (PE), *polystyrene* (PS) yang didapatkan asal alat-alat manufaktur yang sudah terdapat, sehingga bisa mengurangi portofolio produksi.

PLA+ ialah variasi asal *filament* PLA yang mempunyai kekakuan tinggi, kilau yang baik dan transparansi, mempunyai bagian atas akhir yang lebih halus, serta lebih kecil kemungkinannya dapat menyerap kelembaban, umumnya dibubuhi TPU ke filamen buat mencapai properti, PLA + mempunyai rasa dan fungsi mirip ABS tanpa bau.

#### **2.2 Mesin Printer 3D**

*Printer 3D* adalah sebuah *printer* yang menampilkan data dalam bentuk cetakan. Melihat produk ke depan *printer 3D* dan perkembangan perangkat lunak ini telah bisa merambah ke segala lini. ketika ini terus dikembangkan bahan *filament* yang mencapai titik didih tinggi menggunakan kekuatan yang ekstra bertenaga. Jika itu sudah tercapai aplikasinya bisa lebih banyak lagi (Satria, 2019).

*Fused Deposition Modeling* (FDM) artinya salah satu metode yang cukup terkenal pada AM (*Additive Manufacturing*) dimana produk yg dihasilkan melalui proses ini berpotensi buat dapat bersaing menggunakan metode

*manufaktur konvensional (injection moulding)*. perangkat lunak FDM sangat luas meliputi bidang manufaktur. hingga saat ini metode FDM sudah dipergunakan secara luas pada proses *3D printing* karena penggunaannya yang simpel umumnya lebih rendah, ramah lingkungan serta lebih simpel dalam proses pengembangan produk, *prototyping* dan manufaktur (Deni dkk, 2018).

## **2.3 Mekanisme proses 3D printing**

### **2.3.1 Modelling objek 3D**

*3D printing* ini bisa diciptakan memakai aplikasi khusus *desain 3D software* tadi juga wajib didukung sang printer yang akan dipergunakan. perangkat lunak tersebut diantaranya Tinkercad, solidworks, Catia, Delcam dan lainnya. buat mendapatkan arsip CAD ini pengguna bisa memakai *scanner 3D*.

### **2.3.2 Proses pencetakan**

setelah data *desain 3D* siap, selanjutnya menggunakan *printer 3D*. lamanya proses pencetakan tergantung pada dimensi model. Tahapan yang dilakukan adalah mesin printer membaca desain 3D selanjutnya menyusun lapisan berturut-turut sebagai akibatnya menjadi model virtual yang otomatis digabungkan agar membuat sebuah objek lengkap yg utuh.

### **2.3.3 Proses finishing**

Pada tahap akhir ini, kita bisa menyempurnakan bagian yang diklaim kompleks yang mungkin mengalami disparitas berukuran (*over-sized*). Teknik yang bertujuan menyempurnakan ini juga bisa bertujuan menyempurnakan menggunakan bahan yang tidak selaras (*multiple material*), warna tidak sama (*multiplecolor*).

## **2.4 Surface roughness**

*Roughness tester* artinya alat yang dapat mengukur taraf kekasaran bagian permukaan suatu benda. Setiap bagian atas komponen dari suatu benda memiliki beberapa bentuk dan variasi yang berbeda baik menurut strukturnya maupun asal hasil proses produksinya. *Roughness/kekasaran* didefinisikan menjadi ketidakhalusan bentuk yang menyertai proses produksi yang disebabkan oleh

pengerjaan mesin. Nilai kekasaran di penelitian ini dinyatakan dalam *RoughnessAverage*(Ra). Prinsip kerja asal *surfaceroughness* ialah menggunakan menggunakan *transducer* dan diolah menggunakan *microprocessor*.

## **2.5 Langkah-Langkah pengerjaan pada alat *SurfaceRoughness***

Sebelum melakukan pengukuran benda dan alat ukur sudah diatur sehingga bisa meminimalisir kesalahan dalam pengukuran. Setelah itu benda uji diletakan pada meja datar lalu ujung dari *dial indicator* di seting pada posisi stabil, atur seberapa panjang bagian benda yang akan yang akan di uji kekasarannya nanti panjang inilah yang akan dilewati dial indicator tersebut apabila *dial indicator* telah melakukan pengukuran nilai kekasaran akan tercatat pada layar yang ada pada alat *surfaceroughness*.

## **2.6 Uji Kekasaran**

Kekasaran bagian atas adalah komponen tekstur berasal permukaan. Nilai kekasaran sendiri dinyatakan pada *RoughnessAverage* atau Ra. Nilai kekasaran Ra artinya parameter kekasaran yang paling umum dan tak jarang dipergunakan diberbagai negara. Ra sendiri bisa diartikan sebagai rata-rata aritmatika serta adanya defleksi di profil kekasaran.

Kekasaran bagian atas berperan penting ketika menentukan objek yang berinteraksi menggunakan lingkungannya. bagian atas kasar sendiri umumnya lebih aus dan memiliki gaya gesek dan mempunyai tingkat lebih tinggi pada bagian atas halus. Kekasaran jua dapat menaikkan daya rekat. Nilai kekasaran yang tinggi sering kali tak diinginkan karena mampu sebagai lebih sulit buat mengontrol pembuatannya. *SurfaceRoughnes Tester* merupakan alat yang mampu mengukur taraf kekasaran permukaan. Setiap permukaan komponen dari suatu benda memiliki beberapa bentuk serta variasi yang tidak selaras baik menurut strukturnya maupun dari yang akan terjadi proses produksinya. *Roughnes*/kekasaran didefinisikan menjadi ketidakhalusan bentuk yang menyertai proses produksi yang disebabkan oleh pengerjaan mesin.

Langkah-langkah pengerjaan dengan indera ini adalah Sebelum melakukan pengukuran benda dan alat ukur sudah diatur sehingga dapat meminimalisir kesalahan dalam pengukuran setelah itu benda uji diletakan pada meja datar lalu ujung dari *dial indicator* di set pada posisi stabil setelah itu tentukan mseberapa panjang dari bagianbenda yang akan di uji kekasarannya, nanti panjang inilah yang akan dilewati oleh *dial indicator* tersebut apabila *dial indicator* telah melakukan pengukuran sepanjang jarak yang telah ditentukan, nilai kekasaran akan tercatat dan dapat dilihat pada layar yang ada pada alat *surfaceroughnes*..

## 2.7 Kekasaran Permukaan

Kekasaran bagian atas adalah ketidakteraturankenampakan permukaan dan tekstur bagian atas berupa guratan-guratan yang terlihat pada profil permukaan. Konfigurasi permukaan artinya ciri geometris dari grup *mikro geometris*, yang mencakup grup makro geometris, yaitu keseluruhan bagian atas yang membuat bentuk atau kenampakan tertentu, seperti permukaan lubang, bagian atas poros, permukaan samping,dan permukaan lainnya. Mereka mengandung elemen geometris pada ukuran, bentuk, serta lokasi tengah. (Sumardi, 2017). di proses permesinan nilai kekasaran adalah objek yang sangat krusial karena nilai kekasaran akan mentukan nilai suatu produk yang sedang didesain. Kekasaran bagian atas bisa juga dikatakan jeda defleksi homogen-rata berasal garis rata-homogen profil.



Gambar 2.1 Profil kekasaran permukaan

(Sumber : (munadi, 1988))

## 2.8 Metode Taguchi

Metode Taguchi merupakan sebuah metode statistik yang dikembangkan oleh Genichi Taguchi buat mempertinggi kualitas berasal yang akan terjadi produksi *manufaktur, engineering, biotechnology, marketing, dan edvertising*. Metode taguchi diaplikasikan oleh perusahaan-perusahaan manufaktur Jepang pada rangka memperbaiki kualitas produk dan proses. dalam perbaikan kualitas secara esensial Taguchi memakai indera-indera statistik, namun Taguchi menyederhanakannya dengan mengidentifikasi beberapa petunjuk buat *layout* eksperimen dan menganalisa hasilnya.

Metode Taguchi dicetuskan oleh Dr. Genichi Taguchi (1940), seseorang konsultan pengendalian kualitas, yang artinya metodologi baru pada bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses yang dapat menekan biaya sumber daya seminimal mungkin.

Metode Taguchi melibatkan reduksi variasi berasal proses melalui desain robust berasal eksperimen. Tujuan metode ini memproduksi produk yang *highquality* menggunakan biaya yang sangat rendah. Taguchi membuat sebuah metode untuk mendesain eksperimen agar bisa menginvestigasi seberapa akbar dampak berasal parameter yang berbeda terhadap mean (rata-rata) dan variansi dari ciri performansi proses yang menentukan seberapa baik proses tersebut berfungsi.

*Desain eksperimental* yang diperkenalkan oleh Taguchi ini melibatkan *Orthogonalarrays* buat mengorganisir parameter-parameter yang memberikan imbas di proses dan strata-tingkatan yang perlu diberi variasi. *TaguchiMethods* tak menguji seluruh kombinasi namun relatif menguji beberapa kombinasi saja. Pengujian ini akan menghasilkan deretan asal data yang penting dapat menentukan faktor apa saja paling menyampaikan pengaruh pada kualitas produk menggunakan eksperimentasi yang minimum sehingga bisa menghemat waktu serta uang.

Metode Taguchi memakai seperangkat matriks khusus yang dianggap *Orthogonalarrays*. *Matriks* standar ini artinya langkah buat memilih jumlah

percobaan minimal yang dapat memberikan informasi sebanyak mungkin seluruh faktor yang mempengaruhi parameter. Bagian terpenting dari metode *OrthogonalArray* terletak di pemilihan kombinasi level variabel-variabel input buat masing-masing percobaan.

Ross (1996) menyebutkan bahwa filosofi metode taguchi terhadap kualitas terdiri asal 3 butir konsep, yaitu :

- a. Kualitas wajib dibuat kedalam produk dan bukan sekedar memeriksanya.
- b. Kualitas terbaik sehingga robust terhadap faktor lingkungan yang tidak dapat dikontrol.
- c. Biaya kualitas harus diukur sebagai fungsi devisiasi asal standar eksklusif dan kerugian wajib diukur pada seluruh sistem.

Metode Taguchi memperkenalkan pendekatan menggunakan memakai pendekatan desain eksperimen yang berguna buat :

- a. Merancang suatu produk/proses sehingga kualitasnya kokoh terhadap syarat lingkungan.
- b. Merancang produk sehingga kualitasnya kokoh terhadap variasi komponen.
- c. Meminimalkan variasi pada lebih kurang target.

Jika ada sejumlah parameter yang dianjurkan, maka prinsip statistika metode Taguchi ini bisa dihitung seberapa penting peran masing-masing parameter tadi dalam mempengaruhi suatu proses ataupun hasil yang berasal dari proses tersebut. Menggunakan metode taguchi bisa ditarik kesimpulan parameter mana yang secara umum dikuasai mempengaruhi proses (*controlfactor*) dan parameter mana yang hanya artinya gangguan (*noise*) saja.

Menggunakan parameter yang secara umum dikuasai, maka dapat dilakukan peningkatan secara optimal pada parameter, sebagai hasilnya diperoleh proses yang optimal, karena itu dianggap sebagai desain parameter. ada dua kategori pada metode Taguchi, yaitu *TaguchiLossfunction* dan *OrthogonalArrays* (Wibowo,2008).

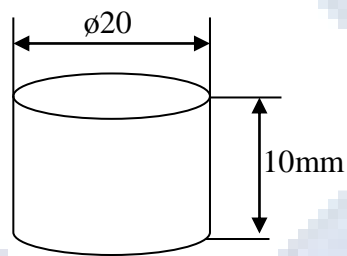
## BAB III

### METODE PELAKSANAAN

#### 3.1 OBJEK PENELITIAN

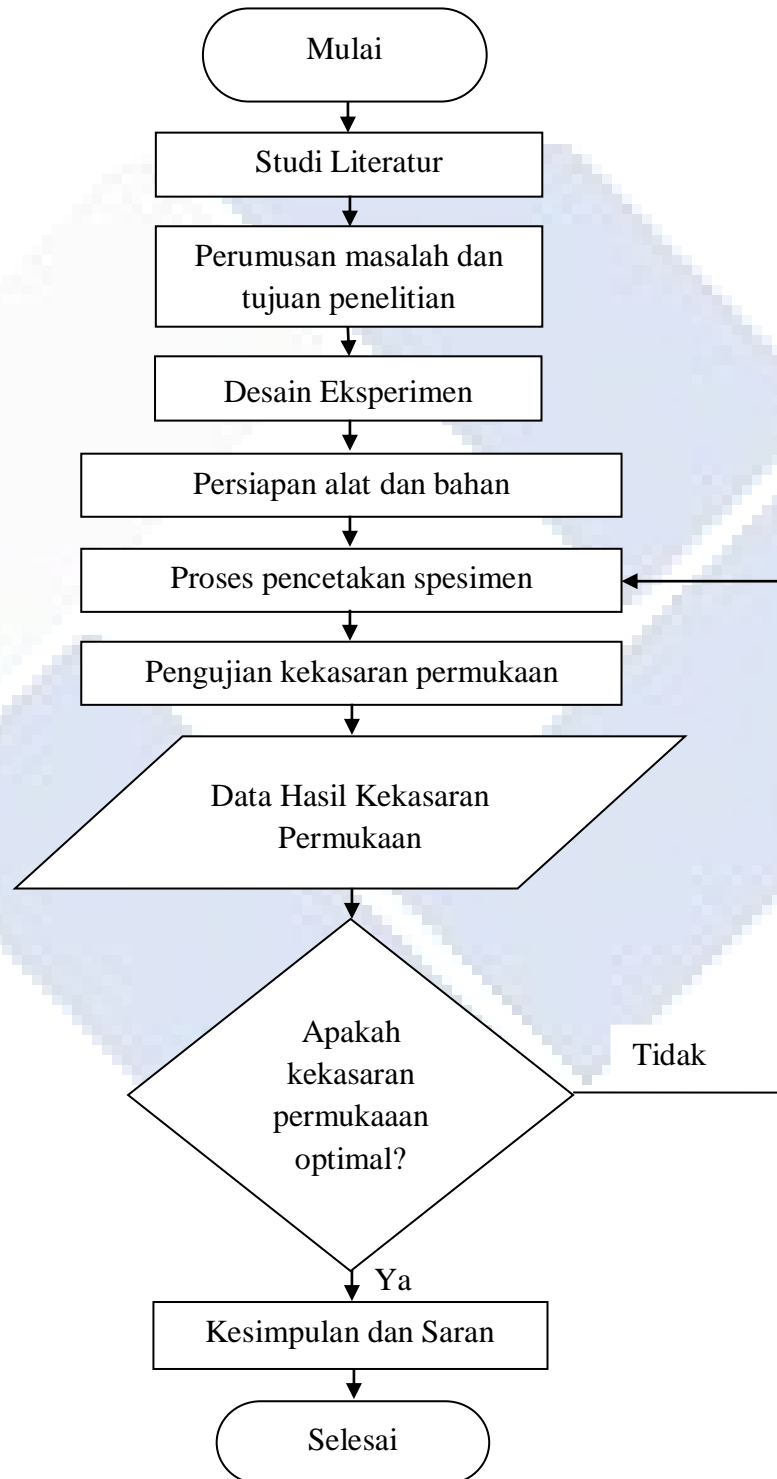
Objek penelitian dilakukan pada printer 3D volume XYZ dengan ukuran 300 mm x 300 mm x 350 mm, menggunakan *nozzle* 0,4 mm. Material yang digunakan adalah filament PLA+ dengan diameter 1,75mm.

Desain objek dilakukan dengan menggunakan *software* AutoCAD 2020, dan bentuk serta ukurannya didasarkan pada spesimen. Ukuran sampel adalah  $\varnothing 20 \times 10$ mm.



Gambar 3.1 Dimensi dan Bentuk Spesimen Uji

Tahapan penelitian yang dilakukan mengikuti diagram alir yang ditunjukkan oleh Gambar 3.2 berikut :



Gambar 3.2 Diagram alir



### 3.2 Perumusan Masalah

Pada tahap ini penulis melihat pengaruh perubahan pada parameter proses terhadap hasil pencetakan agar mengetahui hasil dari uji kekasaran permukaan berdasarkan parameter yang telah disetting pada *slicing software*.

### 3.3 Desain Ekperimen

Penelitian ini menggunakan parameter proses yaitu *layer thicknes, printing speed, nozzle temperature, flowrate, cooling speed, dan type infill*. Untuk filamen menggunakan filamen ESUN PLA+.

### 3.4 Alat dan bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Mesin *3D printing* DIY model Anet A8 Plus Pro dengan *printingvolumes XYZ* 300 mm x 300 mm x 350 mm seperti Gambar 3.2 berikut :



Gambar 3.3 Mesin 3D Printing

Tabel 3.1. Spesifikasi Mesin *3D printing* DIY model Anet A8 Plus Pro

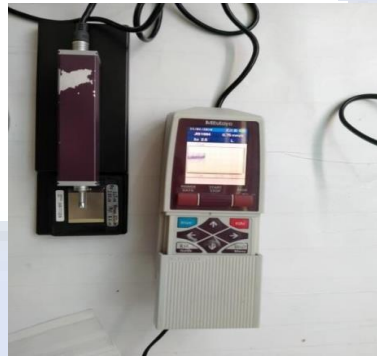
<i>Print Filament</i>	<i>ABS/PLA/TPU/Wood/HIPS</i>
<i>Filament Diameter</i>	<i>1,75mm</i>
<i>Nozzle Diameter</i>	<i>0,4mm</i>
<i>Printing Resolution</i>	<i>0,1-0,015mm</i>
<i>Printing Speed</i>	<i>10-120mm/s</i>
<i>File Format</i>	<i>G-code,OBJ,STL</i>
<i>Layer Thickness</i>	<i>0,1-0,4mm</i>
<i>Max. Heated bed temperature</i>	<i>100<sup>0</sup>C</i>
<i>Max. Hot end temperature</i>	<i>250<sup>0</sup>C</i>
<i>Material Filament</i>	<i>1,75mm</i>

- Material plastik jenis ESUN PLA+ dengan diameter 1,75 mm. Menunjukkan spesifikasi filamen yang digunakan pada penelitian.

Tabel 3.2. Spesifikasi Filamen PLA+

<i>Filament Diameter</i>	1,75 mm
<i>Recommend Extruder Temperature</i>	210-230 °C
<i>Recommend Platform Temperature</i>	No Heat
<i>Density</i>	1,3 g/cm <sup>3</sup>
<i>Tensile strength</i>	37 mpa
<i>Flexural Modulus</i>	4 Gpa

- Laptop dengan spesifikasi *modelling merk* HP 1000. Digunakan untuk melakukan proses desain 3D objek cetak, selain itu digunakan untuk menjalankan *software* yang digunakan pada penelitian ini.
- *Surface roughness*



Gambar 3.4 *Surface Roughness Tester*

- *Software ideamaker* 3.6.1, digunakan untuk *G-Code* pada mesin 3D Printing.
- *Software* analisis.
- (*V block*)



Gambar 3.5 *V Blok*

- *Holder*



Gambar 3.6 *Holder*

### 3.5 Proses Penelitian

#### 3.5.1 Persiapan Alat dan Bahan

Pada tahapan ini, Semua alat dan bahan akan disiapkan dengan sebaik mungkin supaya penelitian terarah dan sesuai dengan yang diharapkan.

#### 3.5.2 Menentukan parameter

Setelah persiapan selesai dilakukan, maka akan dilanjutkan dengan menentukan parameter proses cetak seperti *Layer thickness*, *Nozzle temperature*, *Printingspeed*, *Coolingspeed*, *flowrate*, *Typeinfill*. Untuk temperatur *bed* menggunakan 100°C.

Parameter

No	Parameter Proses	<i>Level 1</i>	<i>Level 2</i>	<i>Level 3</i>	<i>Level 4</i>	<i>Level 5</i>
1	<i>Layer thickness</i>	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24
2	<i>Nozzle temperatur</i>	205	210	215	220	225
3	<i>Printingspeed</i>	35	40	45	50	55
4	<i>Coolingspeed</i>	20	40	60	80	100
5	<i>Flowrate</i>	95	100	105	110	115
6	<i>Type infill</i>	<i>Cubic</i>	<i>Gyroid</i>	<i>Concentric</i>	<i>Honeycomb</i>	<i>Triangles</i>

Tabel Derajat Kebebasan Parameter Bebas & Levelnya

No	Parameter Proses	Jumlah <i>Level</i>	( $K - 1$ )
1	<i>Layer thickness</i>	5	5
2	<i>Nozzle temperatur</i>	5	5
3	<i>Printingspeed</i>	5	5
4	<i>Coolingspeed</i>	5	5
5	<i>Flowrate</i>	5	5
6	<i>Type infill</i>	5	5

Berdasarkan hasil perhitungan tabel yang didapatkan 25 derajat kebebasan untuk eksperimen ini MatrikOrthogonal yang digunakan  $L_{25}$ .

Faktor & level Penelitian

Parameter Proses	<i>Level</i>	Nilai Variabel
<i>Layer thickness</i> (mm)	1	0,16
	2	0,18
	3	0,20
	4	0,22
	5	0,24
<i>Nozzle temperatur</i> (mm/s)	1	205
	2	210
	3	215
	4	220
	5	225
<i>Printingspeed</i> (°C)	1	35
	2	40
	3	45
	4	50
	5	55
<i>Coolingspeed</i> (°)	1	20
	2	40
	3	60
	4	80
	5	100
<i>Flowrate</i> (%)	1	95
	2	100
	3	105
	4	110
	5	115
<i>Type infill</i> (%)	1	<i>Cubic</i>
	2	<i>Gyroid</i>
	3	<i>Concentric</i>
	4	<i>Honeycomb</i>
	5	<i>Triangles</i>

Table 3.3 Nilai Level Parameter yang di uji

Level	Layer thickness(mm)	Nozzle temperatur (mm/s)	Printingspeed(°C)	Coolingspeed(°)	Flowrate (%)	Type infill(%)
1	0,16	205	35	20	95	Cubic
2	0,18	210	40	40	100	Gyroid
3	0,20	215	45	60	105	Concentric
4	0,22	220	50	80	110	Honeycomb
5	0,24	225	55	100	115	Triangles

Table 3.4 Nilai Taguchi L25 OA

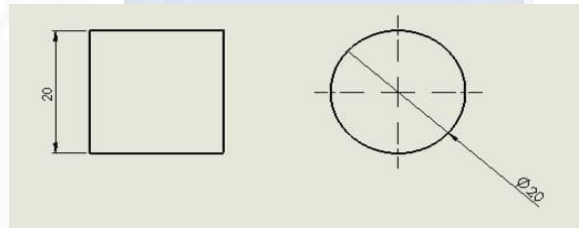
No	Layer thickness (mm)	Nozzle temperatur (mm/s)	Printingspeed(°C)	Coolingspeed(°)	Flowrate (%)	Type infill(%)
1	0,16	205	35	20	95	Cubic
2	0,16	210	40	40	100	Gyroid
3	0,16	215	45	60	105	Concentric
4	0,16	220	50	80	110	Honeycomb
5	0,16	225	55	100	115	Triangles
6	0,18	205	40	60	110	Triangles
7	0,18	210	45	80	115	Cubic
8	0,18	215	50	100	95	Gyroid
9	0,18	220	55	20	100	Concentric
10	0,18	225	35	40	105	Honeycomb
11	0,20	205	45	100	100	Concentric
12	0,20	210	50	20	105	Honeycomb
13	0,20	215	55	40	110	Cubic
14	0,20	220	35	60	115	Gyroid
15	0,20	225	40	80	95	Concentric
16	0,22	205	50	40	115	Concentric
17	0,22	210	55	60	95	Honeycomb
18	0,22	215	35	80	100	Triangles
19	0,22	220	40	100	105	Cubic
20	0,22	225	45	40	110	Gyroid
21	0,24	205	55	80	105	Gyroid
22	0,24	210	35	100	110	Concentric
23	0,24	215	40	20	115	Honeycomb
24	0,24	220	45	40	95	Triangles
25	0,24	225	50	60	100	Cubic

Eksperimen akan dilakukan berdasarkan Tabel 3.4 Nilai tiap parameter diinput ke mesin 3D *Printing* dan akan dilakukan pencetakan. Hasil cetak diukur

pada sumbu XYZ sebanyak tiga kali dan dirata-ratakan. Nilai rata-rata dari hasil pengukuran tiap spesimen akan diolah menggunakan *software* analisis.

### 3.5.3 Penentuan dimensi dan bentuk objek cetak

Selanjutnya menentukan spesimen uji berdasarkan spesimen uji yang telah *didesain* di autocad 2020.



Gambar 3.7 Dimensi dan Bentuk Spesimen Uji

### 3.5.4 Desain Objek Penelitian

Mendesain spesimen berdasarkan spesimen uji, dengan menggunakan *autocad 2020*.

### 3.5.5 Slicing STL Spesimen dan Masukan SD Card ke Mesin 3D printing

Setelah itu, file diproses pada *softwareslicing (Ideamaker 3.6.1)* dan diimpor ke *SDcard*, tujuan dari proses ini adalah untuk membuat *desain* yang disiapkan dapat dibuat dan diproses oleh mesin 3D *printing*.

### 3.5.6 Proses pencetakan produk

Proses pencetakan bertujuan untuk mengetahui apakah suatu produk yang telah dicetak pada mesin 3D *printing* sesuai dengan spesimen uji.

### 3.5.7 Pengujian Kekasaran

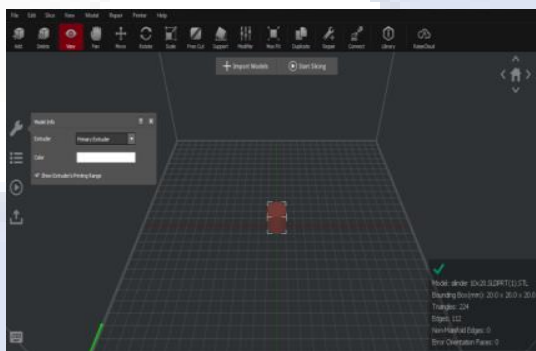
Setelah proses pencetakan selesai, maka akan dilakukan proses uji kekarasan dengan menggunakan *analatsurfaceroughness* untuk mengetahui nilai kekarasan dari produk yang telah dicetak sebelumnya. Pada pengujian ini terdapat dua belas titik uji yang dimana enam titik pada bagian atas permukaan spesimen dan enam titik lagi pada bagian dinding spesimen.

### 3.5.8 Pengolahan data

Tahap terakhir dari penelitian ini adalah pengolahan data. Pada tahap ini semua parameter yang diuji dan objek 3D yang telah dihasilkan akan disajikan dalam penelitian ini untuk menentukan parameter yang paling berpengaruh untuk menghasilkan produk terbaik.

### 3.5.9 Proses Pembentukan Spesimen

Setelah desain bentuk selesai, akan dilanjutkan dengan proses pengaturan parameter cetak pada *software* (*Ideamaker 3.6.1.*) sesuai dengan Tabel.2. Agar spesimen dapat diolah dan dibentuk pada mesin 3D *printing*. Sesuai dengan *standart* ASTM D638 type IV.



Gambar 3.8. Bentuk *Orientasi* Cetak

Bentuk *Orientasi* spesimen ditetapkan dalam arah ketebalan spesimen seperti dapat dilihat pada Gambar 3.8 dengan *infill density* 100%. Untuk parameter lain selain parameter pada Tabel 3.3. Dilakukan berdasarkan rekomendasi dari *supplier filament*.

### 3.5.10 Pengujian Kekasaran

Setelah semua proses selesai maka akan dilakukan pengujian kekasaran menggunakan *surfaceroughness* untuk mengetahui kekasaran dari material ESUN PLA+.

### **3.3.11 Analisis Data**

Menggunakan *software* analisis untuk analisis data guna menentukan pengaruh parameter pada pengujian kekasaran. Data yang diperoleh akan ditampilkan dalam tabel respon untuk memudahkan pengolahan data. Tujuannya yaitu mengetahui pengaruh parameter untuk melihat nilai kekasaran permukaan spesimen uji menggunakan filament ESUN PLA+.





## BAB IV

### PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengambilan Data Hasil Percobaan

Pengambilan data penelitian dilakukan dengan cara mengkombinasikan parameter-parameter proses yang terdapat pada mesin *3D printing*. Adapun parameter-parameter proses yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan adalah *Layer thickness*, *Nozzletemperature*, *Printingspeed*, *Coolingspeed*, *flowrate*, dan *Typeinfill*.

Pada tahap ini setelah melakukan pengukuran, maka langkah berikutnya adalah melakukan pengolahan data dengan menggunakan desain eksperimen metode Taguchi dengan menggunakan *software* analisis untuk memperoleh faktor pelaksanaan pengambilan data pada penelitian ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

Pengukuran kekasaran permukaan benda kerja dilakukan dengan menggunakan *portablesurfaceroughness tester* SJ201 dan hasilnya ditunjukkan pada Tabel 4.1 sebagai berikut :

##### 1. Pengukuran kekasaran permukaan spesimen uji

Pengukuran kekasaran permukaan benda kerja dilakukan dengan menggunakan *portablesurfaceroughness tester* SJ201 merk mitutoyo dan hasilnya ditunjukkan pada Tabel 4.1 sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Data Hasil Pengujian Spesimen pada Titik Bagian Samping

		<i>SurfaceRoughness</i> ( $\mu\text{m}$ )							
No. <i>Exp</i>		Titik 1(satu)	Titik 2(dua)	Titik 3(tiga)	Titik 4(empat)	Titik 5(lima)	Titik 6(enam)	Rata- rata	<i>Mean</i>
1	Nilai awal	13.787	14.122	13.787	13.976	14.286	13.599	13.925	
	Replikasi	13.458	14.450	14.668	15.254	14.226	13.857	14.326	13.779
	1								
	Replikasi	12.825	12.712	13.212	13.207	13.117	13.454	13.087	
	2								
2	Nilai awal	13,740	13,832	14,566	16,983	16,258	11,677	14.509	
	Replikasi	11.249	11.227	12.845	12.032	11.379	13.540	12.053	13.323

	1								
	Replikasi	11.670	13.823	14.878	14.413	13.126	12.537	13.407	
	2								
3	Nilai awal	13.638	15.272	11.017	13.464	12.311	12.783	13.080	
	Replikasi	12.585	11.425	14.389	12.220	12.740	13.132	12.748	13.398
	1								
	Replikasi	15.530	15.945	13.722	15.612	12.413	12.980	14.367	
	2								
4	Nilai awal	17.054	18.594	16.418	16.477	15.385	18.002	16.991	
	Replikasi	13.750	15.820	14.365	12.789	14.142	14.320	14.192	15.859
	1								
	Replikasi	17.412	16.253	15.454	15.573	16.688	16.998	16.396	
	2								
5	Nilai awal	13.258	13.714	13.789	14.544	13.642	14.340	13.881	
	Replikasi	14.520	13.673	13.822	13.751	14.132	14.255	14.025	15.137
	1								
	Replikasi	16.320	18.880	16.570	16.943	17.670	18.663	17.507	
	2								
6	Nilai awal	13.653	14.750	13.946	15.650	14.736	15.077	14.635	
	Replikasi	15.253	13.778	12.975	12.824	12.658	12.777	13.377	14.317
	1								
	Replikasi	15.812	14.148	15.980	15.993	13.943	13.764	14.940	
	2								
7	Nilai awal	16.765	15.890	15.990	16.540	15.980	15.780	16.157	
	Replikasi	15.624	16.512	15.983	16.577	16.753	15.924	16.288	15.758
	1								
	Replikasi	15.780	13.461	15.413	15.416	14.343	14.581	14.832	
	2								
8	Nilai awal	16,115	11.335	11.772	11.768	12.319	15.766	13.179	
	Replikasi	11.411	11.523	14.723	12.688	11.922	11.423	12.281	12.545
	1								
	Replikasi	11.640	11.210	12.732	12.392	12.752	12.320	12.176	
	2								
9	Nilai awal	17.373	17.951	15.804	12.262	12.644	11.948	14.663	
	Replikasi	12.672	11.742	11.839	14.470	11.320	13.231	12.545	13.297
	1								
	Replikasi	11.210	11.277	13.701	12.490	13.672	13.761	12.685	
	2								
10	Nilai awal	14.843	15.881	16.329	18.644	17.458	18.522	16.946	
	Replikasi	16.418	17.230	17.584	15.739	12.440	12.888	15.383	15.039
	1								
	Replikasi	13.430	13.923	11.413	12.667	12.930	12.372	12.789	

	2								
11	Nilai awal	16.095	16.143	15.399	15.016	16.599	14.423	15.612	
	Replikasi	15.371	18.470	18.713	17.626	16.573	14.679	16.905	16.635
	1								
	Replikasi	16.560	16.872	17.672	17.872	16.549	18.813	17.389	
	2								
12	Nilai awal	14.888	12.747	12.865	14.627	14.162	13.017	13.717	
	Replikasi	14.568	14.980	13.891	12.542	12.888	14.870	13.958	14.928
	1								
	Replikasi	16.610	16.678	18.585	16.930	17.088	16.769	17.110	
	2								
13	Nilai awal	13.748	13.327	14.525	16.741	14.976	13.945	14.543	
	Replikasi	13.647	13.932	13.393	14.722	16.981	13.760	14.405	15.972
	1								
	Replikasi	17.812	19.656	18.515	18.644	19.832	18.364	18.970	
	2								
14	Nilai awal	16.028	16.378	16.287	16.484	16.198	16.312	16.281	
	Replikasi	16.113	15.581	15.370	15.280	16.879	15.573	15.799	15.521
	1								
	Replikasi	13.730	15.469	14.476	13.329	14.679	14.945	14.483	
	2								
15	Nilai awal	13.247	13.641	14.373	15.124	14.767	15.886	14.506	
	Replikasi	15.412	15.731	13.470	14.312	13.280	12.842	14.174	14.174
	1								
	Replikasi	12.612	12.992	15.560	13.913	14.201	13.777	13.844	
	2								
16	Nilai awal	15.887	16.152	15.985	15.885	16.052	15.955	15.992	
	Replikasi	16.342	15.147	15.913	16.613	15.264	14.699	15.663	14.701
	1								
	Replikasi	12.842	11.408	13.570	11.841	12.212	12.831	12.450	
	2								
17	Nilai awal	16.587	16.977	17.526	17.525	16.855	16.752	17.037	
	Replikasi	15.912	16.392	16.686	17.740	16.893	17.970	16.932	15.633
	1								
	Replikasi	12.694	13.293	11.572	12.762	14.673	12.642	12.931	
	2								
18	Nilai awal	14.920	15.145	15.232	14.869	14.752	15.242	15.027	
	Replikasi	14.813	14.866	14.761	14.351	15.763	14.201	14.792	14.635
	1								
	Replikasi	12.840	14.570	13.679	13.932	15.908	13.590	14.086	
	2								
19	Nilai awal	13.920	14.012	13.867	14.155	14.240	14.168	14.060	

	Replikasi 1	13.614	13.670	14.412	13.849	13.877	13.340	16.988	14.600
	Replikasi 2	11.232	11.678	13.211	13.805	15.033	14.673	12.754	
20	Nilai awal	17.850	16.988	17.594	18.477	15.525	18.311	17.457	
	Replikasi 1	18.744	17.856	16.470	16.699	15.570	16.591	16.174	14.461
	Replikasi 2	11.825	11.497	13.421	14.669	12.463	12.650	12.754	
21	Nilai awal	16.335	16.458	15.650	16.750	17.240	15.560	16.613	
	Replikasi 1	14.530	15.897	14.793	14.477	16.586	14.762	15.174	14.837
	Replikasi 2	13.549	12.388	12.312	12.513	14.417	11.382	12.725	
22	Nilai awal	17.925	16.191	15.051	17.336	16.641	16.535	16.613	
	Replikasi 1	16.133	16.292	16.662	17.372	18.870	18.832	17.356	16.576
	Replikasi 2	14.744	15.464	14.992	15.317	16.717	17.384	15.760	
23	Nilai awal	19.459	20.335	18.890	19.242	19.482	17.542	19.158	
	Replikasi 1	15.549	14.532	15.893	13.247	15.893	13.918	14.878	16.601
	Replikasi 2	14.629	16.303	14.642	16.477	15.832	16.676	15.769	
24	Nilai awal	13.747	15.841	16.424	13.120	15.284	13.193	14.610	
	Replikasi 1	16.973	15.672	15.524	16.990	14.532	16.714	16.067	15.478
	Replikasi 2	14.875	14.612	16.694	16.563	15.240	15.840	15.759	
25	Nilai awal	14.068	14.885	16.365	15.512	15.956	14.952	15.289	
	Replikasi 1	17.763	16.432	14.525	16.679	17.942	17.966	16.884	15.438
	Replikasi 2	14.335	13.415	14.763	13.920	12.669	15.746	14.141	

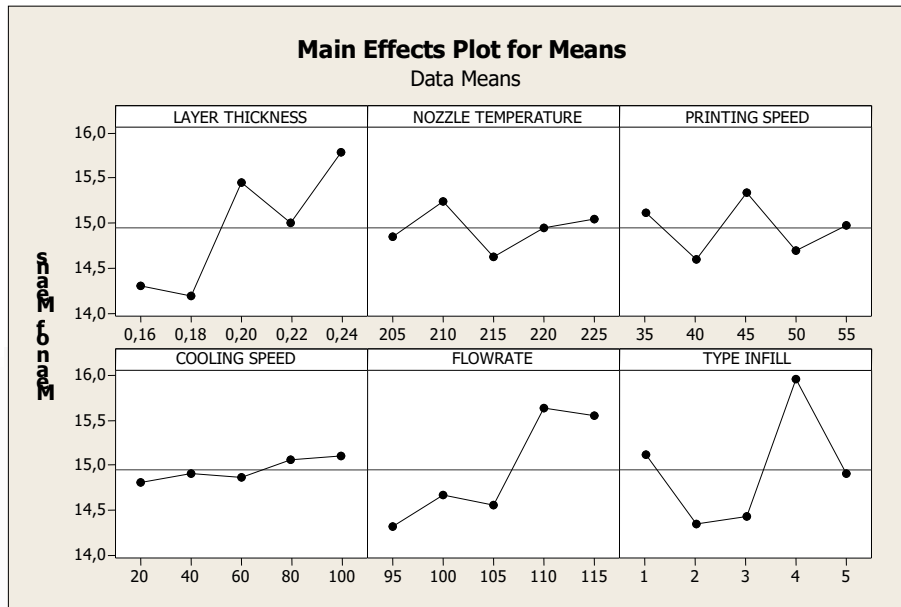
## 4.2 Pengolahan Data

Perhitungan Respon dari *Mean*

Perhitungan respon dari mean pada faktor – faktor tersebut dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\bar{A}_{IEXP1} = \frac{\sum_{i=1}^2 y_i}{3}$$

Dari data Tabel 4.1 dapat dicari nilai respon dari mean pada tiap faktor dan berikut diperoleh hasil perhitungan responmean sebagai berikut :



Gambar 4. 1 Grafik Rata - Rata

**Response Table for Means**

**Tabel 4.2 Rata – Rata**  
*ResponseTableforMeans*

Level	Layer thickness	Nozzletemperature	Printingspeed	Coolingspeed	flowrate	Typeinfill
1	14,30	14,85	15,11	14,81	14,32	15,11
2	14,19	15,24	14,60	14,90	14,67	14,34
3	15,45	14,63	15,35	14,86	14,56	14,43
4	15,01	14,95	14,69	15,05	15,64	15,95
5	15,79	15,05	14,98	15,10	15,54	14,90
Delta	1,59	0,61	0,74	0,29	1,32	1,62
Rank	1	5	4	6	3	2

Dari respon rata - rata tiap faktor dapat dilihat urutan – urutan pengaruh dari tiap faktor mulai yang terkecil sampai yang besar. Dari respon rata – rata tiap faktor dipilih mulai yang terkecil sesuai dengan karakteristik *smallerthebetter*.

Dari gambar grafik dan tabel respon untuk rata – rata (*mean*) memperlihatkan urutan faktor yang memiliki pengaruh terbesar hingga terkecil terhadap karakteristik kekasaran yaitu *layer thickness* (0,18), *flowrate* (95), *temperatur nozzle* (215), *printingspeed* (40), *coolingspeed* (20) dan *typeinfill* (*Gyroid*) Perhitungan rata – rata S/N.

Perhitungan rasio S/N merupakan rancangan yang digunakan untuk memilih faktor yang berkontribusi terhadap pengurangan respon kekasaran permukaan yang mentransformasikan data ke dalam suatu nilai ukuran variasi yang timbul. Nilai rasio S/N tergantung pada jenis karakteristik kualitas dari masing-masing respon. Perhitungan rasio S/N pada penelitian ini digunakan untuk respon kekasaran permukaan dengan karakteristik kualitas semakin kecil, semakin baik (*SmallisBetter*) pada rumus (2.6) adalah:

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

dimana:

n = jumlah pengulangan

y = data dari percobaan

Karakteristik kualitas yang menjadi tujuan perbaikan kualitas adalah memaksimalkan parameter untuk nilai kekasaran permukaan spesimen. Kualitas ukuran kekasaran spesimen yang diharapkan adalah kekasaran yang paling kecil. Kekasaran memiliki karakteristik kualitas semakin kecil kekakasaran permukaan maka akan semakin baik.

Dengan replikasi sebanyak 3 kali, maka perhitungan rasio S/N dapat dilihat di bawah ini :

Pada eksperimen ke 1 :

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{3} [13,925^2 + 14,326^2 + 13,087^2] \right] = -22,616$$

Pada eksperimen ke 2 :

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{3} [11,677^2 + 13,540^2 + 12,537^2] \right] = -22,516$$

Pada eksperimen ke 3 :

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{3} [12,783^2 + 13,132^2 + 12,980^2] \right] = -22,552$$

Pada eksperimen ke 4 :

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{3} [18,002^2 + 14,320^2 + 16,998^2] \right] = -24,030$$

Pada eksperimen ke 5 :

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{3} [14,340^2 + 14,255^2 + 18,663^2] \right] = -23,645$$

Pada eksperimen ke 6 :

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{3} [15,077^2 + 12,777^2 + 13,764^2] \right] = -23,126$$

Pada eksperimen ke 7 :

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{3} [15,780^2 + 15,924^2 + 14,581^2] \right] = -23,958$$

Pada eksperimen ke 8 :

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{3} [15,766^2 + 11,423^2 + 12,320^2] \right] = -21,975$$

Pada eksperimen ke 9 :

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{3} [11,948^2 + 13,231^2 + 13,761^2] \right] = -22,498$$

Pada eksperimen ke 10 :

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{3} [18,522^2 + 12,888^2 + 12,372^2] \right] = -23,910$$

Pada eksperimen ke 11 :

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{3} [14,423^2 + 14,679^2 + 18,813^2] \right] = -24,429$$

Pada eksperimen ke 12 :

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{3} [13,017^2 + 14,870^2 + 16,769^2] \right] = -23,526$$

Pada eksperimen ke 13 :

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{3} [13,945^2 + 13,760^2 + 18,364^2] \right] = -28,914$$

Pada eksperimen ke 14 :

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{3} [16,312^2 + 15,573^2 + 14,945^2] \right] = -23,828$$

Pada eksperimen ke 15 :

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{3} [15,886^2 + 12,842^2 + 13,777^2] \right] = -23,030$$

Pada eksperimen ke 16 :

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{3} [15,955^2 + 14,699^2 + 12,831^2] \right] = -23,398$$

Pada eksperimen ke 17 :

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{3} [16,752^2 + 17,970^2 + 12,642^2] \right] = -23,945$$

Pada eksperimen ke 18 :

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{3} [15,242^2 + 14,201^2 + 13,590^2] \right] = -23,311$$

Pada eksperimen ke 19 :

$$S/N = -10 \log [^{1/3}[14.168^2 + 13.340^2 + 14.673^2]] = -23,350$$

Pada eksperimen ke 20 :

$$S/N = -10 \log [^{1/3}[18.311^2 + 16.591^2 + 12.650^2]] = -23,856$$

Pada eksperimen ke 21 :

$$S/N = -10 \log [^{1/3}[15.560^2 + 14.762^2 + 11.382^2]] = -23,477$$

Pada eksperimen ke 22 :

$$S/N = -10 \log [^{1/3}[16.535^2 + 18.832^2 + 17.384^2]] = -24,396$$

Pada eksperimen ke 23 :

$$S/N = -10 \log [^{1/3}[17.542^2 + 17.542^2 + 16.676^2]] = -24,456$$

Pada eksperimen ke 24 :

$$S/N = -10 \log [^{1/3}[13.193^2 + 16.714^2 + 15.840^2]] = -23,801$$

Pada eksperimen ke 25 :

$$S/N = -10 \log [^{1/3}[14.952^2 + 17.966^2 + 15.746^2]] = -23,794$$

Hasil perhitungan rasio S/N yang diperoleh untuk respon yang diamati dapat dilihat pada Tabel dibawah ini.

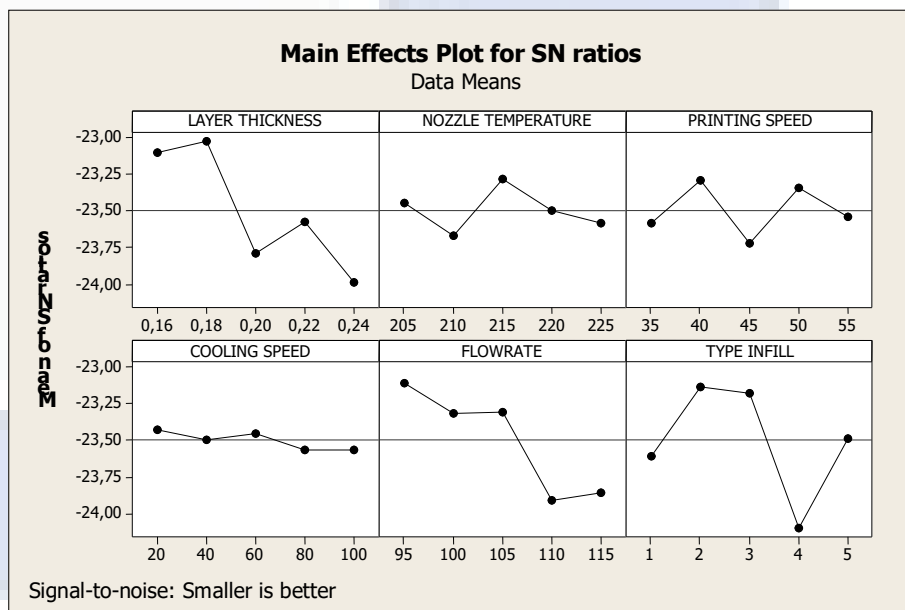
**Tabel 4. 3 Hasil perhitungan rasio S/N untuk respon**

No.Exp	Faktor						Replikasi			S/N
	A	B	C	D	E	F	Nilai Awal	1	2	
<b>1</b>	1	1	1	1	1	1	13.925	14.326	13.087	-22,552
<b>2</b>	1	2	2	2	2	2	14.509	12.053	13.407	-22,516
<b>3</b>	1	3	3	3	3	3	13.080	12.748	14.367	-22,552
<b>4</b>	1	4	4	4	4	4	16.991	14.192	16.396	-24,030
<b>5</b>	1	5	5	5	5	5	13.881	14.025	17.507	-23,645
<b>6</b>	2	1	2	3	4	5	14.635	13.377	14.940	-23,126
<b>7</b>	2	2	3	4	5	1	16.157	16.288	14.832	-23,958
<b>8</b>	2	3	4	5	1	2	13.179	12.281	12.176	-21,975
<b>9</b>	2	4	5	1	2	3	14.663	12.545	12.685	-22,498
<b>10</b>	2	5	1	2	3	4	16.946	15.383	12.789	-23,910
<b>11</b>	3	1	3	5	2	4	15.612	16.905	17.389	-24,429
<b>12</b>	3	2	4	1	3	5	13.717	13.958	17.110	-23,526
<b>13</b>	3	3	5	2	4	1	14.543	14.405	18.970	-28,914
<b>14</b>	3	4	1	3	5	2	15,284	16,788	13,520	-23,828
<b>15</b>	3	5	2	4	1	3	14.506	14.174	13.844	-23,030
<b>16</b>	4	1	4	2	5	3	15.992	15.663	12.450	-23,398



17	4	2	5	3	1	4	17.037	16.932	12.931	-23,945
18	4	3	1	4	2	5	15.027	14.792	14.086	-23,311
19	4	4	2	5	3	1	14.060	16.988	12.754	-23,350
20	4	5	3	1	4	2	17.457	16.174	12.754	-23,856
21	5	1	5	4	3	2	16.613	15.174	12.725	-23,477
22	5	2	1	5	4	3	16.613	17.356	15.760	-24,396
23	5	3	2	1	5	4	19.158	14.878	15.769	-24,456
24	5	4	3	2	1	5	14.610	16.067	15.759	-23,801
25	5	5	4	3	2	1	15.289	16.884	14.141	-23,794

Dari tabel diatas dapat dicari nilai dari rasio S/N pada tiap parameter dan berikut diperoleh hasil perhitungan respon dapat dilihat pada grafik dan Tabel dibawah :



Gambar 4. 2 Grafik SN

Response Table for Signal to Noise Ratios

Tabel 4. 4 ResponSignaltoNoise  
ResponseTableforSignaltoNoiseRatios  
Smallerisbetter

Level	Layer thickness	Nozzle temperature	Printing speed	Cooling speed	flowrate	Type infill
1	-23,11	-23,44	-23,59	-23,43	-23,11	-23,61
2	-23,03	-23,67	-23,30	-23,49	-23,31	-23,13
3	-23,79	-23,29	-23,72	-23,45	-23,30	-23,18
4	-23,57	-23,50	-23,35	-23,56	-23,91	-24,09
5	-23,99	-23,59	-23,54	-23,56	-23,86	-23,48
Delta	0,95	0,38	0,42	0,14	0,80	0,96
Rank	2	5	4	6	3	1

Dari respon SN tiap – tiap faktor dapat dilihat urutan – urutan pengaruh dari tiap – tiap faktor mulai yang terkecil sampai yang besar. Dari respon SN tiap faktor dipilih mulai yang terkecil sesuai dengan karakteristik *smallerthebetter*.

Dari gambar grafik dan tabel respon untuk rata – rata (*mean*) memperlihatkan urutan faktor yang memiliki pengaruh terbesar hingga terkecil terhadap karakteristik kekasaran yaitu *layer thickness* (0,18), *flowrate* (105), *temperatur nozzle* (225), *printingspeed* (50), *coolingspeed* (60) dan *typeinfill* (*cubic*).

Tabel 4. 5 Data Hasil Pengujian Spesimen pada Titik Bagian Atas

		<i>SurfaceRoughness</i> ( $\mu\text{m}$ )						Rata – rata	Mean
Exp no.		Titik uji 1	Titik uji 2	Titik uji 3	Titik uji 4	Titik uji 5	Titik uji 6		
1	Nilai awal	4.350	3.635	2.996	4.321	3.526	3.969	3.800	4.760
	Replikasi 1	5.741	6.179	6.925	4.421	6.529	5.677	5.912	
	Replikasi 2	3.215	5.444	5.472	2.846	5.213	5.212	4.567	
2	Nilai awal	7.250	5.722	5.249	6.442	4.782	5.552	5.832	6.259
	Replikasi 1	7.322	6.128	5.432	6.113	7.376	7.832	6.700	
	Replikasi 2	5.350	7.983	5.765	6.486	6.452	5.432	6.244	
3	Nilai awal	1.870	3.680	1.769	1.675	2.646	3.761	2.566	2.882
	Replikasi 1	2.679	1.325	3.244	1.521	3.461	4.670	2.816	
	Replikasi 2	1.813	4.664	2.439	2.993	3.420	4.261	3.265	
4	Nilai awal	5.660	4.777	4.821	3.869	3.342	3.525	4.333	4.376
	Replikasi 1	3.966	3.225	4.576	3.943	2.530	2.675	3.270	
	Replikasi 2	5.927	4.559	6.035	6.227	5.101	5.302	5.525	
5	Nilai awal	6.325	6.865	6.340	7.888	8.691	5.451	6.926	3.917
	Replikasi 1	1.741	1.522	2.681	1.765	3.669	3.425	2.467	
	Replikasi 2	2.746	3.037	3.776	2.478	1.024	1.101	2.358	
6	Nilai awal	5.549	8.725	7.822	7.523	6.425	5.340	6.879	5.816
	Replikasi 1	5.625	4.741	4.996	5.655	4.417	4.667	5.016	
	Replikasi 2	4.451	6.339	6.524	6.560	5.130	4.320	5.554	
7	Nilai awal	8.263	7.525	8.525	6,629	6.525	7.296	7.460	8.391
	Replikasi 1	9.525	8.583	9.324	9.525	7.511	8.786	8.868	
	Replikasi 2	7.247	8.889	10.255	8.448	9.521	8.721	8.846	
8	Nilai awal	3.324	2.425	2.155	1.769	3.651	2.690	2.669	6.290
	Replikasi 1	10.441	10.687	9.151	11.453	9.671	9.935	10.218	
	Replikasi 2	5.387	7.678	6.541	6.027	5.023	5.252	5.984	
9	Nilai awal	4.225	5.341	5.493	4.924	4.543	4.745	4.878	4.798
	Replikasi 1	1.231	5.889	4.926	3.761	3.522	3.416	3.790	
	Replikasi 2	6.632	4.981	6.115	5.114	5.163	6.361	5.727	
10	Nilai awal	7.706	9.277	7.986	8.126	8.676	8.720	8.415	8.017
	Replikasi 1	6.333	5.697	5,741	6.675	4.464	6.781	5.948	

	Replikasi 2	8.831	9.999	9.561	10.331	9.653	9.758	9.688	
11	Nilai awal	6.780	6.686	5.411	6.133	7.546	6.965	6.586	
	Replikasi 1	7.541	7.751	7.599	6.311	5.970	5.813	6.815	8.040
	Replikasi 2	10.847	11.918	10.556	10.889	10.778	9.325	10.718	
12	Nilai awal	11.911	10.781	10.525	10.750	9.677	11.143	10.752	
	Replikasi 1	2.765	1.451	3.769	3.541	2.310	2.920	2.792	5.986
	Replikasi 2	5.418	4.673	3.107	3.881	3.995	5.410	4.414	
13	Nilai awal	9.988	11.322	8.766	10.622	9.567	9.553	9.966	
	Tabel lanjutan		4.682	5.876	4.422	5.614	3.832	4.833	5.896
			3.778	3.785	2.793	3.636	1.834	2.890	
14	Nilai awal	8.726	8.562	7.541	8,896	6.833	5.967	7.754	
	Replikasi 1	7.551	5.881	6.691	7.420	5.912	5.768	5.537	5.200
	Replikasi 2	3.663	1.973	2.887	2,118	1.949	1.258	2.308	
15	Nilai awal	8.650	6.920	9.320	9.691	9.525	8.115	8.703	
	Replikasi 1	8.651	7.702	7.888	6.561	8.832	8.388	8.003	6.720
	Replikasi 2	2.703	1.881	2.677	4.,171	4.940	4.352	3.454	
16	Nilai awal	4.342	3.666	5.260	5.765	4.941	4.251	4.704	
	Replikasi 1	5.665	4.861	3.651	3.743	5.520	5.837	4.879	4.367
	Replikasi 2	4.557	2.773	3.750	3.883	3.780	2.361	3.517	
17	Nilai awal	5.798	6.555	6.765	6.890	5.760	4.769	6.089	
	Replikasi 1	2.753	1.105	3.745	1.969	1.431	2.778	2.296	5.543
	Replikasi 2	7.873	9.822	7.075	7.822	7.981	8.842	8.245	
18	Nilai awal	6.88	5.765	7.553	5.882	6.549	6.321	6.993	
	Replikasi 1	1.241	3.783	3.371	1.767	2.321	1.980	2.410	6.210
	Replikasi 2	8.951	10.282	8.542	8.443	9.918	9.237	9.228	
19	Nilai awal	2.545	1.861	1.413	3.420	2.332	1.165	2.122	
	Replikasi 1	10.575	11.021	11.643	9.541	10.441	10.819	10.673	5.133
	Replikasi 2	2.988	1.380	2.566	3.789	3.779	1.132	2.605	
20	Nilai awal	3.525	5.643	5.261	4.619	2.198	3.761	4.161	
	Replikasi 1	12.911	8.887	10.441	11.021	10.676	10.213	10.691	6.270
	Replikasi 2	2.357	3.547	4.364	4.988	4.987	3.501	3.957	
21	Nilai awal	3.761	4.681	5.766	4.112	2.525	2.322	3.861	
	Replikasi 1	5.940	4.641	4.571	4.645	3.820	5.668	4.880	3.839
	Replikasi 2	1.967	2.681	2.983	3.038	3.855	2.143	2.777	
22	Nilai awal	5.619	3.325	4.968	4.267	2.490	4.402	4.178	
	Replikasi 1	3.769	1.579	1.678	3.322	2.218	3.758	2.720	3.846
	Replikasi 2	3.115	5.730	4.573	5.416	5.591	3.410	4.639	
23	Nilai awal	10.541	8.984	9.712	8.788	8.235	10.569	9.471	
	Replikasi 1	2.570	2.669	3.893	2.543	1.821	1.694	2.531	5.744
	Replikasi 2	3.338	5.669	2.571	3.713	3.888	2.903	5.229	
24	Nilai awal	4.866	6.126	5.331	5.214	4.469	4.766	5.128	
	Replikasi 1	2.452	3.579	3.661	2.323	2.964	1.233	2.702	3.422
	Replikasi 2	5.889	3.993	1.233	1.881	1.371	5.327	2.437	
25	Nilai awal	3.233	1.541	3.240	2.352	1.989	1.540	2.315	
	Replikasi 1	5.244	4.555	5.751	4.414	4.776	3.515	4.709	3.415
	Replikasi 2	4.670	1.399	2.999	2.141	3.873	4.250	3.222	

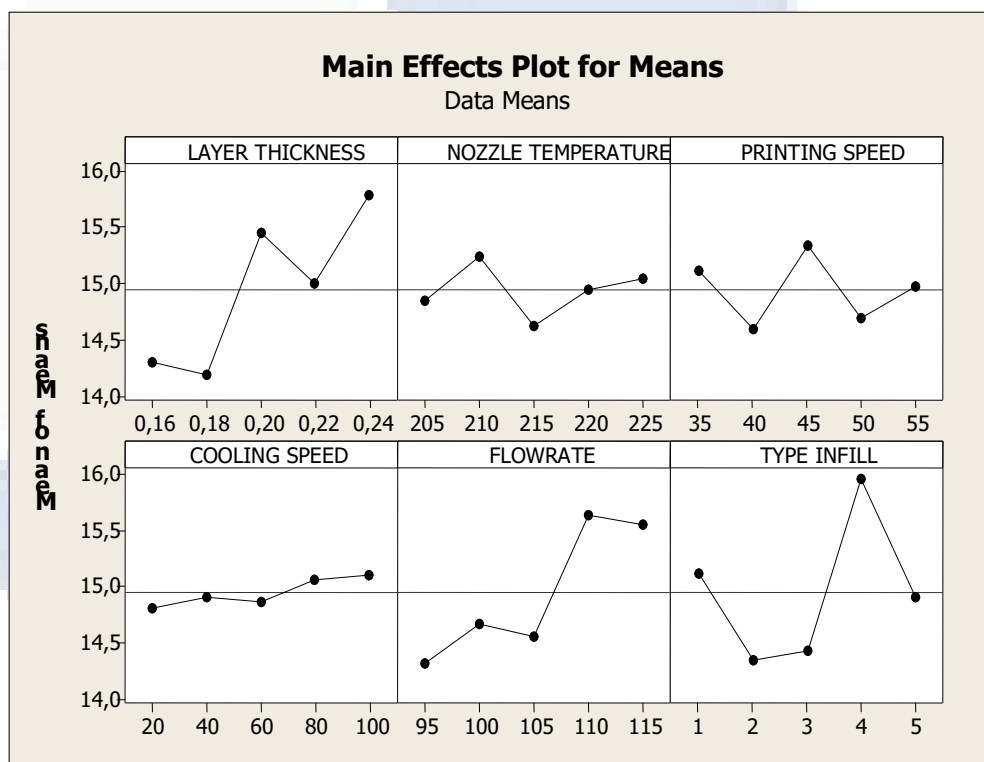
## 4.2 Pengolahan Data

### A. Perhitungan Respon dari Mean

Perhitungan respon dari *mean* pada faktor – faktor tersebut dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\bar{A}_{EXP1} = \frac{\sum_{i=1}^2 y_i}{3} \text{ rumus.....(1.1)}$$

Dari data Tabel 4.5 dapat dicari nilai respon dari mean pada tiap faktor dan berikut diperoleh hasil perhitungan responmean sebagai berikut :



Gambar 4. 3 Grafik Rata – Rata

### Response Table for Means

Tabel 4.6 Rata – Rata

### ResponseTableforMeans

Level	Layer thickness	Nozzletemperature	Printingspeed	Coolingspeed	flowrate	Typeinfill
1	4,439	5,365	5,606	5,512	5,347	5,519
2	6,664	6,005	5,936	5,592	5,744	5,572
3	6,368	5,405	5,801	4,573	5,172	4,523
4	5,505	4,586	4,887	5,907	5,242	6,344
5	4,053	5,668	4,799	5,445	5,524	5,072
Delt	2,611	1,419	1,137	1,335	0,573	1,821

a							
Ran	1	3	5	4	6	2	
k							

Dari respon rata - rata tiap faktor dapat dilihat urutan – urutan pengaruh dari tiap faktor mulai yang terkecil sampai yang besar. Dari respon rata – rata tiap faktor dipilih mulai yang terkecil sesuai dengan karakteristik *smallerthebetter*.

Dari gambar grafik dan tabel respon untuk rata – rata (*mean*) memperlihatkan urutan faktor yang memiliki pengaruh terbesar hingga terkecil terhadap karakteristik kekasaran yaitu *layer thickness* (0,16), *flowrate* (110), *nozzletemperature* (205), *printingspeed* (45), *coolingspeed* (100) dan *typeinfill (concentric)* Perhitungan rata – rata S/N

Perhitungan rasio S/N merupakan rancangan yang digunakan untuk memilih faktor yang berkontribusi terhadap pengurangan respon kekasaran permukaan yang mentransformasikan data ke dalam suatu nilai ukuran variasi yang timbul. Nilai rasio S/N tergantung pada jenis karakteristik kualitas dari masing-masing respon. Perhitungan rasio S/N pada penelitian ini digunakan untuk respon kekasaran permukaan dengan karakteristik kualitas semakin kecil, semakin baik (*SmallisBetter*) pada Rumus (2.6) adalah:

$$\text{rasio S/N} = - 10 \log\left(\sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n}\right) \text{ rumus rasio S/N.....(2.6)}$$

dimana:

n = jumlah pengulangan

y = data dari percobaan

Karakteristik kualitas yang menjadi tujuan perbaikan kualitas adalah memaksimalkan parameter untuk nilai kekasaran permukaan spesimen. Kualitas ukuran kekasaran spesimen yang diharapkan adalah kekasaran yang paling kecil. Kekasaran memiliki karakteristik kualitas semakin kecil kekakasaran permukaan maka akan semakin baik.

Dengan replikasi sebanyak 3 kali, maka perhitungan rasio S/N dapat dilihat di bawah ini :

Pada eksperimen ke 1 :

$$\text{S/N} = -10 \log \left[ \frac{1}{3} [ 7,598^2 + 34,951^2 + 20,857^2 ] \right] = -13,250$$

Pada eksperimen ke 2 :

$$S/N = -10 \log [^{1/3}[34,012^2 + 44,890^2 + 38,987^2]] = -15,943$$

Pada eksperimen ke 3 :

$$S/N = -10 \log [^{1/3}[6,584^2 + 7,929^2 + 10,660^2]] = -9,238$$

Pada eksperimen ke 4 :

$$S/N = -10 \log [^{1/3}[18,774^2 + 10,692^2 + 30,525^2]] = -13,009$$

Pada eksperimen ke 5 :

$$S/N = -10 \log [^{1/3}[47,969^2 + 6,086^2 + 5,560^2]] = -12,982$$

Pada eksperimen ke 6 :

$$S/N = -10 \log [^{1/3}[47,306^2 + 25,160^2 + 30,846^2]] = -15,370$$

Pada eksperimen ke 7 :

$$S/N = -10 \log [^{1/3}[55,651^2 + 78,641^2 + 78,251^2]] = -18,503$$

Pada eksperimen ke 8 :

$$S/N = -10 \log [^{1/3}[7,123^2 + 104,407^2 + 35,808^2]] = -16,911$$

Pada eksperimen ke 9 :

$$S/N = -10 \log [^{1/3}[23,794^2 + 14,364^2 + 32,798^2]] = -13,783$$

Pada eksperimen ke 10 :

$$S/N = -10 \log [^{1/3}[70,812^2 + 35,378^2 + 93,857^2]] = -18,240$$

Pada eksperimen ke 11 :

$$S/N = -10 \log [^{1/3}[43,375^2 + 46,444^2 + 114,875^2]] = -18,339$$

Pada eksperimen ke 12 :

$$S/N = -10 \log [^{1/3}[115,605^2 + 7,795^2 + 19,483^2]] = -16,778$$

Pada eksperimen ke 13 :

$$S/N = -10 \log [^{1/3}[99,321^2 + 23,357^2 + 8,352^2]] = -16,409$$

Pada eksperimen ke 14 :

$$S/N = -10 \log [^{1/3}[60,124^2 + 30,658^2 + 5,326^2]] = -15,056$$

Pada eksperimen ke 15 :

$$S/N = -10 \log [^{1/3}[75,742^2 + 64,048^2 + 11,930^2]] = -17,039$$

Pada eksperimen ke 16 :

$$S/N = -10 \log [^{1/3}[22,127^2 + 23,804^2 + 12,369^2]] = -12,887$$

Pada eksperimen ke 17 :

$$S/N = -10 \log [^{1/3}[37,075^2 + 5,271^2 + 67,980^2]] = -15,655$$

Pada eksperimen ke 18 :

$$S/N = -10 \log [^{1/3}[48,902^2 + 5,808^2 + 85,155^2]] = -16,682$$

Pada eksperimen ke 19 :

$$S/N = -10 \log [^{1/3}[4,502^2 + 113,912^2 + 6,786^2]] = -16,682$$

Pada eksperimen ke 20 :

$$S/N = -10 \log [^{1/3}[17,363^2 + 114,297^2 + 15,657^2]] = -16,911$$

Pada eksperimen ke 21 :

$$S/N = -10 \log [^{1/3}[14,907^2 + 23,814^2 + 7,711^2]] = -11,896$$

Pada eksperimen ke 22 :

$$S/N = -10 \log [^{1/3}[17,503^2 + 7,398^2 + 21,520^2]] = -11,895$$

Pada eksperimen ke 23 :

$$S/N = -10 \log [^{1/3}[89,699^2 + 6,405^2 + 27,342^2]] = -16,143$$

Pada eksperimen ke 24 :

$$S/N = -10 \log [^{1/3}[26,296^2 + 7,300^2 + 5,938^2]] = -11,198$$

Pada eksperimen ke 25 :

$$S/N = -10 \log [^{1/3}[5,359^2 + 22,174^2 + 10,381^2]] = -11,016$$

Hasil perhitungan rasio S/N yang diperoleh untuk respon yang diamati dapat dilihat pada Tabel dibawah ini :

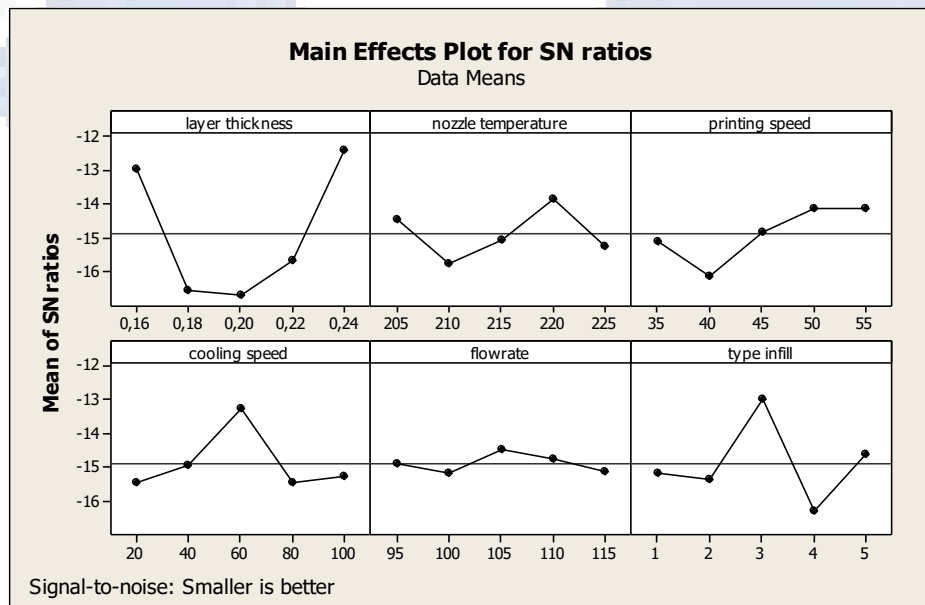
Tabel 4. 7 Hasil perhitungan rasio S/N untuk respon

NoExp	Faktor						Nilai Awal	Replikasi		S/N
	A	B	C	D	E	F		1	2	
1	1	1	1	1	1	1	3.799	5.912	4.567	-13,250
2	1	2	2	2	2	2	5.832	6.700	6.244	-15,943
3	1	3	3	3	3	3	2.566	2.816	3.265	-9,238
4	1	4	4	4	4	4	4.333	3.270	5.525	-13,009
5	1	5	5	5	5	5	6.926	2.467	2.358	-12,982
6	2	1	2	3	4	5	6.879	5.016	5.554	-15,370

7	2	2	3	4	5	1	7.460	8.868	8.846	-18,503
8	2	3	4	5	1	2	2.669	10.218	5.984	-16,911
9	2	4	5	1	2	3	4.878	3.790	5.727	-13,783
10	2	5	1	2	3	4	8.415	5.948	9.688	-18,240
11	3	1	3	5	2	4	6.586	6.815	10.718	-18,339
12	3	2	4	1	3	5	10.752	2.792	4.414	-16,778
13	3	3	5	2	4	1	9.966	4.833	2.890	-16,409
14	3	4	1	3	5	2	7.754	5.537	2.308	-15,056
15	3	5	2	4	1	3	8.703	8.003	3.454	-17,039
16	4	1	4	2	5	3	4.704	4.879	3.517	-12,887
17	4	2	5	3	1	4	6.089	2.296	8.245	-15,655
18	4	3	1	4	2	5	6.993	2.410	9.228	-16,682
19	4	4	2	5	3	1	2.122	10.673	2.605	-16,240
20	4	5	3	1	4	2	4.161	10.691	3.957	-16,911
21	5	1	5	4	3	2	3.861	4.880	2.777	-11,896
22	5	2	1	5	4	3	4.178	2.720	4.639	-11,895
23	5	3	2	1	5	4	9.471	2.531	5.229	-16,143
24	5	4	3	2	1	5	5.128	2.702	2.437	-11,198
25	5	5	4	3	2	1	2.315	4.709	3.222	-11,016

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari tabel diatas dapat dicari nilai dari rasio S/N pada tiap parameter dan berikut diperoleh hasil perhitungan respon dapat dilihat pada grafik dan tabel dibawah:



Gambar 4. 4 Grafik SN



Tabel 4. 8 ResponSignaltoNoise

Level	Layer thickness	Nozzletemperature	Printingspeed	Coolingspeed	flowrate	Typeinfill
1	-12,97	-14,44	-15,11	-15,45	-14,90	-15,16
2	-16,56	-15,75	-16,14	-14,93	-15,15	-15,34
3	-16,72	-15,08	-14,84	-13,27	-14,47	-12,96
4	-15,67	-13,84	-14,12	-15,43	-14,72	-16,28
5	-12,43	-15,24	-14,14	-15,27	-15,11	-14,61
Delta	4,29	1,91	2,02	2,18	0,67	3,32
Rangk	1	5	4	3	6	2

Dari respon SN tiap – tiap faktor dapat dilihat urutan – urutan pengaruh dari tiap – tiap faktor mulai yang terkecil sampai yang besar. Dari respon SN tiap faktor dipilih mulai yang terkecil sesuai dengan karakteristik *smallerthebetter*.

Dari gambar grafik dan tabel respon untuk rata – rata (*mean*) memperlihatkan urutan faktor yang memiliki pengaruh terbesar hingga terkecil terhadap karakteristik kekasaran yaitu *layer thickness* (0,24), *flowrate* (45), *nozzle temperature* (220), *printingspeed* (50), *coolingspeed* (60) dan *typeinfill* (*triangles*).

#### 4.2.3 Analisa Varian Rasio S/N

Berdasarkan parameter yang berpengaruh terhadap nilai rata – rata kekasaran permukaan, maka untuk mengetahui parameter yang berpengaruh secara signifikan terhadap nilai rasio S/N juga dapat dilakukan dengan perhitungan model analisis variansi dua arah. Perhitungan analisis variansi yang terdiri dari perhitungan derajat kebebasan, jumlah kuadrat dan rata – rata jumlah kuadrat dapat dilihat dibawah ini

##### A. Data Anova Sampling

$$V_T = N - 1$$

$$= 25 - 1$$

Derajat kebebasan A (*Layer thickness*)

$$V_A = 5 - 1 = 4$$

Derajat kebebasan B (*Nozzle temperatur*)

$$V_B = 5 - 1 = 4$$

Derajat kebebasan C (*Printingspeed*)

$$V_C = 5 - 1 = 4$$

Derajat kebebasan D (*Coolingspeed*)

$$V_D = 5 - 1 = 4$$

Derajat kebebasan E (*Flowrate*)

$$V_E = 5 - 1 = 4$$

Derajat kebebasan F (*Type infill*)

$$V_F = 5 - 1 = 4$$

Derajat bebas total

$$\begin{aligned} V_{\text{Error}} &= V_T - V_A - V_B - V_C - V_D - V_E - V_F \\ &= 24 - 4 - 4 - 4 - 4 - 4 - 4 \end{aligned}$$

**Perhitungan parameter A (*Layer thickness*)**

Jumlah kuadrat (*Sum of Square*)

$$SS_A = \frac{A_1^2}{n_{A1}} + \frac{A_2^2}{n_{A2}} + \frac{A_3^2}{n_{A3}} + \frac{A_4^2}{n_{A4}} + \frac{A_5^2}{n_{A5}} + \frac{A_6^2}{n_{A6}} - \frac{T^2}{N}$$

Perhitungan *sum of square* parameter A

$$\begin{aligned} SS_A &= \frac{(-115,295)^2}{5} + \frac{(-115,467)^2}{5} + \frac{(-123,727)^2}{5} + \frac{(-117,8604)^2}{5} + \frac{(-119,924)^2}{5} - \\ &\frac{(-592,273)^2}{25} \\ &= 9,82 \end{aligned}$$

Rata – rata kuadrat (*Meansquare*)

$$MS_A = \frac{SS_A}{V_A} = \frac{9,82}{4} = 2,45$$

$$SS_T = \sum Y^2$$

$$\begin{aligned} &= (-22,552)^2 + (-22,516)^2 + (-22,552)^2 + (-24,030)^2 + \dots + (-23,794)^2 \\ &= 14.070,27 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat karena rata – rata (*mean*)

$$\begin{aligned} SS_M &= n \cdot \bar{y}^2 \\ &= 25 \cdot (-23,7384)^2 \\ &= 14.087,79 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat error

$$SS_{\text{Faktor}} = SS_A + SS_B + SS_C + SS_D + SS_E + SS_F$$

$$= 9,82 + 2,11 + 4,65 + 4,03 + 10,25 + 7,76$$

$$= 46,47$$

Residualerror

$$SS_e = SS_T - SS_M - SS_{Faktor}$$

$$= 14.622,23 - 14.575,44 - 46,47$$

$$= 0,32$$

Menghitung F hitung *Layer thickness*

$$F_{RasioA} = \frac{SS_A}{SS_E} = \frac{41,59}{0,32} = 129,96$$

**Perhitungan parameter B (*Nozzletemperature*)**

Jumlah kuadrat (*Sum of Square*)

$$SS_B = \frac{B_1^2}{n_{B1}} + \frac{B_2^2}{n_{B2}} + \frac{B_3^2}{n_{B3}} + \frac{B_4^2}{n_{B4}} + \frac{B_5^2}{n_{B5}} + \frac{B_6^2}{n_{B6}} - \frac{T^2}{N}$$

Perhitungan *sum of square* parameter B

$$SS_B = \frac{(-116,982)^2}{5} + \frac{(-118,341)^2}{5} + \frac{(-121,208)^2}{5} + \frac{(-117,507)^2}{5} + \frac{(-118,235)^2}{5} - \frac{(-592,273)^2}{25}$$

$$= 2,11$$

Rata – rata kuadrat (*Meansquare*)

$$MS_B = \frac{SS_A}{V_A} = \frac{2,11}{4} = 0,5275$$

Jumlah kuadrat karena rata – rata (*mean*)

$$SS_M = n \cdot \bar{y}^2$$

$$= 25 \cdot (-23,7384)^2$$

$$= 14.087,79$$

Jumlah kuadrat error

$$SS_{Faktor} = SS_A + SS_B + SS_C + SS_D + SS_E + SS_F$$

$$= 9,82 + 2,11 + 4,65 + 4,03 + 10,25 + 7,76$$

$$= 46,47$$

Residualerror

$$SS_e = SS_T - SS_M - SS_{Faktor}$$

$$= 14.622,23 - 14.575,44 - 46,47$$

$$= 0,32$$

Menghitung F hitung B

$$F_{\text{RasioB}} = \frac{SS_B}{SS_E} = \frac{0,75}{0,32} = 2,34$$

### Perhitungan parameter C (*Printingspeed*)

Jumlah kuadrat (*sum ofsquare*)

$$SS_C = \frac{C_1^2}{n_{C_1}} + \frac{C_2^2}{n_{C_2}} + \frac{C_3^2}{n_{C_3}} + \frac{C_4^2}{n_{C_4}} + \frac{C_5^2}{n_{C_5}} + \frac{C_6^2}{n_{C_6}} - \frac{T^2}{N}$$

Perhitungan *sum ofsquare* parameter C

$$\begin{aligned} SS_C &= \frac{(-117,997)^2}{5} + \frac{(-116,478)^2}{5} + \frac{(-118,596)^2}{5} + \frac{(-116,723)^2}{5} + \frac{(-122,479)^2}{5} - \\ &\frac{(-592,273)^2}{25} \\ &= 4,65 \end{aligned}$$

Rata – rata kuadrat (*Meansquare*)

$$MS_C = \frac{SS_C}{V_C} = 1,16$$

Jumlah kuadrat karena rata – rata (*mean*)

$$\begin{aligned} SS_M &= n \cdot \bar{y}^2 \\ &= 25 \cdot (-23,7384)^2 \\ &= 14.087,79 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat error

$$\begin{aligned} SS_{\text{Faktor}} &= SS_A + SS_B + SS_C + SS_D + SS_E + SS_F \\ &= 9,82 + 2,11 + 4,65 + 4,03 + 10,25 + 7,76 \\ &= 46,47 \end{aligned}$$

Residual error

$$\begin{aligned} SS_e &= SS_T - SS_M - SS_{\text{Faktor}} \\ &= 14.622,23 - 14.575,44 - 46,47 \\ &= 0,32 \end{aligned}$$

Menghitung F hitung C

$$F_{\text{RasioC}} = \frac{SS_C}{SS_E} = \frac{0,74}{0,32} = 2,31$$

### Perhitungan parameter D (*Coolingspeed*)

Jumlah kuadrat (*sum ofsquare*)

$$SS_D = \frac{D_1^2}{n_{D_1}} + \frac{D_2^2}{n_{D_2}} + \frac{D_3^2}{n_{D_3}} + \frac{D_4^2}{n_{D_4}} + \frac{D_5^2}{n_{D_5}} + \frac{D_6^2}{n_{D_6}} - \frac{T^2}{N}$$

Perhitungan *sum ofsquare* parameter D

$$SS_D = \frac{(-116,888)^2}{5} + \frac{(-122,539)^2}{5} + \frac{(-117,245)^2}{5} + \frac{(-117,806)^2}{5} + \frac{(-117,795)^2}{5} - \frac{(-592,273)^2}{25} = 4,03$$

Rata – rata kuadrat (*Meansquare*)

$$MS_D = \frac{SS_D}{V_D} = 1,07$$

Jumlah kuadrat karena rata – rata (*mean*)

$$\begin{aligned} SS_M &= n \cdot \bar{y}^2 \\ &= 25 \cdot (-23,7384)^2 \\ &= 14.087,79 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat error

$$\begin{aligned} SS_{Faktor} &= SS_A + SS_B + SS_C + SS_D + SS_E + SS_F \\ &= 9,82 + 2,11 + 4,65 + 4,03 + 10,25 + 7,76 \\ &= 46,47 \end{aligned}$$

Residual error

$$\begin{aligned} SS_e &= SS_T - SS_M - SS_{Faktor} \\ &= 14.622,23 - 14.575,44 - 46,47 \\ &= 0,32 \end{aligned}$$

Menghitung F hitung *D*

$$F_{RasioD} = \frac{SS_D}{SS_E} = \frac{0,97}{0,32} = 3,03$$

**Menghitung parameter E (*flowrate*)**

Jumlah kuadrat (*sum of square*)

$$SS_E = \frac{\square 1^2}{\square \square 1} + \frac{\square 2^2}{\square \square 2} + \frac{\square 3^2}{\square \square 3} + \frac{\square 4^2}{\square \square 4} + \frac{\square 5^2}{\square \square 5} + \frac{\square 6^2}{\square \square 6} - \frac{\square^2}{\square}$$

Perhitungan *sum of square* parameter E

$$\begin{aligned} SS_E &= \frac{(-115,303)^2}{5} + \frac{(-116,548)^2}{5} + \frac{(-116,815)^2}{5} + \frac{(-124,322)^2}{5} + \frac{(-119,273)^2}{5} - \frac{(-592,273)^2}{25} \\ &= 1,92 \end{aligned}$$

Rata – rata kuadrat (*Meansquare*)

$$MS_E = \frac{\square \square \square}{\square \square} = 10,25$$

Jumlah kuadrat karena rata – rata (*mean*)

$$\begin{aligned} SS_M &= n \cdot \bar{y}^2 \\ &= 25 \cdot (-23,7384)^2 \end{aligned}$$

$$= 14.087,79$$

Jumlah kuadrat error

$$\begin{aligned} SS_{\text{Faktor}} &= SS_A + SS_B + SS_C + SS_D + SS_E + SS_F \\ &= 9,82 + 2,11 + 4,65 + 4,03 + 10,25 + 7,76 \\ &= 46,47 \end{aligned}$$

Residualerror

$$\begin{aligned} SS_e &= SS_T - SS_M - SS_{\text{Faktor}} \\ &= 14.622,23 - 14.575,44 - 46,47 \\ &= 0,32 \end{aligned}$$

Menghitung F hitung E

$$F_{\text{RasioE}} = \frac{\square\square\square}{\square\square_E} = \frac{1,92}{0,32} = 6$$

**Perhitungan parameter F (Type infill)**

Jumlah kuadrat (*sum of square*)

$$SS_F = \frac{\square 1^2}{\square\square_1} + \frac{\square 2^2}{\square\square_2} + \frac{\square 3^2}{\square\square_3} + \frac{\square 4^2}{\square\square_4} + \frac{\square 5^2}{\square\square_5} + \frac{\square 6^2}{\square\square_6} - \frac{\square^2}{\square}$$

Perhitungan *sum of square* parameter F

$$\begin{aligned} SS_F &= \frac{(-122,568)^2}{5} + \frac{(-15,472)^2}{5} + \frac{(-115,874)^2}{5} + \frac{(-120,770)^2}{5} + \frac{(-117,409)^2}{5} - \frac{(-589,270)^2}{25} \\ &= 7,76 \end{aligned}$$

Rata – rata kuadrat (*Meansquare*)

$$MS_F = \frac{\square\square\square}{\square\square} = 1,94$$

Jumlah kuadrat karena rata – rata (*mean*)

$$\begin{aligned} SS_M &= n \cdot \bar{y}^2 \\ &= 25 \cdot (-23,7384)^2 \\ &= 14.087,79 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat error

$$\begin{aligned} SS_{\text{Faktor}} &= SS_A + SS_B + SS_C + SS_D + SS_E + SS_F \\ &= 9,82 + 2,11 + 4,65 + 4,03 + 10,25 + 7,76 \\ &= 46,47 \end{aligned}$$

Residualerror

$$\begin{aligned} SS_e &= SS_T - SS_M - SS_{\text{Faktor}} \\ &= 14.622,23 - 14.575,44 - 46,47 \end{aligned}$$

$$= 0,32$$

Menghitung F hitung F

$$F_{\text{Rasio}} = \frac{\frac{\square\square\square}{\square\square\square}}{\frac{\square\square\square}{\square\square\square}} = \frac{0,5}{0,32} = 1,56$$

Kuadrat tengah error

$$MS_{\text{Error}} = \frac{\frac{\square\square\square}{\square\square\square\square\square}}{\frac{\square\square\square\square\square}{\square\square\square\square\square}} = \frac{0,32}{0}$$

= Tidak dapat dibagi dengan 0

Jumlah kuadrat total

$$\begin{aligned} SS_{\text{Total}} &= SS_A + SS_B + SS_C + SS_D + SS_E + SS_F + SS_e \\ &= 9,82 + 2,11 + 4,65 + 4,03 + 10,25 + 7,76 \\ &= 46,47 \end{aligned}$$

Hasil dari perhitungan analisis variansi terhadap rasio S/N dapat dilihat pada Tabel 4.9 berikut :

Tabel 4. 9 Analisis Variansi rasio S/N

Sumber	V	SS	MS	F
<i>Layer Thickness</i>	4	9,82	2,45	129,96
<i>PrintingSpeed</i>	4	2,11	0,527	2,34
<i>Temperatur Nozzle</i>	4	4,65	1,16	2,31
<i>TypeInfill</i>	4	4,03	1,07	3,03
<i>Flowrate</i>	4	10,25	2,56	6
<i>CoolingSpeed</i>	4	7,76	7,76	1,56
Error	0	0,32	-	
Total	24	46,79		

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 10 ANOVA

*FactorTypeLevelsValues*

<i>LAYER THICKNESS</i>	<i>fixed</i>	5	0,16; 0,18; 0,20; 0,22; 0,24
<i>NOZZEL TEMPERATURE</i>	<i>fixed</i>	5	205; 210; 215; 220; 225
<i>PRINTING SPEED</i>	<i>fixed</i>	5	35; 40; 45; 50; 55
<i>COOLING SPEED</i>	<i>fixed</i>	5	20; 40; 60; 80; 100
<i>FLOWRATE</i>	<i>fixed</i>	5	95; 100; 105; 110; 115
<i>TYPE INFILL</i>	<i>fixed</i>	5	1; 2; 3; 4; 5

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
<i>LAYER THICKNESS</i>	4	9,1335	9,1335	2,2834	*	*
<i>NOZZEL TEMPERATURE</i>	4	1,0881	1,0881	0,2720	*	*
<i>PRINTING SPEED</i>	4	5,6163	5,6163	1,4041	*	*
<i>COOLING</i>	4	4,8597	4,8597	1,2149	*	*
<i>FLOWRATE</i>	4	9,8303	9,8303	2,4576	*	*

<i>TYPE INFILL</i>	4	7,2280	7,2280	1,8070	*	*
<i>Error</i>	0	*	*	*		
<i>Total</i>	24	37,7559				

Sumber : Hasil Perhitungan *software* analisis

Tabel 4. 11 Keputusan Uji

Komparasi Terhadap Respon	F-Test	F Tabel (0,05;4;24)	Keputusan Uji
<i>Layer Thickness</i>	129,96		H0 ditolak
<i>PrintingSpeed</i>	2,34		H0 diterima
<i>Temperatur Nozzle</i>	2,31		H0 diterima
<i>TypeInfill</i>	3,03	2,78	H0 ditolak
<i>Flowrate</i>	6		H0 ditolak
<i>CoolingSpeed</i>	1,56		H0 diterima

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari data diatas dapat dilihat bahwa nilai F-Test dari parameter *layer thickness*, *flowrate* dan *typeinfill* memiliki pengaruh yang signifikan dikarenakan nilai F-Test lebih besar dibandingkan dengan nilai F-Tabel terhadap kekasaran permukaan yang berarti H0 ditolak. Sedangkan nilai F-Test dari parameter *printingspeed*, *temperatur nozzle* dan *coolingspeed* tidak memiliki pengaruh yang signifikan dikarenakan nilai F-Test lebih kecil dibandingkan nilai F-Tabel yang berarti H0 diterima.

## B. Data Anova Bagian Atas

$$V_T = N - 1$$

$$= 25 - 1$$

Derajat kebebasan A

$$V_A = 5 - 1 = 4$$

Derajat kebebasan B

$$V_B = 5 - 1 = 4$$

Derajat kebebasan C

$$V_C = 5 - 1 = 4$$

Derajat kebebasan D

$$V_D = 5 - 1 = 4$$

Derajat kebebasan E

$$V_E = 5 - 1 = 4$$



Derajat kebebasan F

$$V_F = 5 - 1 = 4$$

Derajat bebas total

$$\begin{aligned} V_{\text{Error}} &= V_T - V_A - V_B - V_C - V_D - V_E - V_F \\ &= 24 - 4 - 4 - 4 - 4 - 4 - 4 \end{aligned}$$

**Perhitungan parameter A (*Layer thickness*)**

Jumlah kuadrat (*Sum of Square*)

$$SS_A = \frac{\square 1^2}{\square \square 1} + \frac{\square 2^2}{\square \square 2} + \frac{\square 3^2}{\square \square 3} + \frac{\square 4^2}{\square \square 4} + \frac{\square 5^2}{\square \square 5} + \frac{\square 6^2}{\square \square 6} - \frac{\square^2}{\square}$$

Perhitungan *sum of square* parameter A

$$\begin{aligned} SS_A &= \frac{(-64,422)^2}{5} + \frac{(-82,807)^2}{5} + \frac{(-83,621)^2}{5} + \frac{(-78,375)^2}{5} + \frac{(-62,148)^2}{5} - \frac{(-371,373)^2}{25} \\ &= 84,20 \end{aligned}$$

Rata – rata kuadrat (*Meansquare*)

$$MS_A = \frac{\square \square \square}{\square \square} = \frac{84,20}{4} = 21,05$$

$$SS_T = \sum Y^2$$

$$\begin{aligned} &= (-13,250)^2 + (-15,943)^2 + (-9,238)^2 + (-13,009)^2 + \dots + (-11,016)^2 \\ &= 5.516,70 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat karena rata – rata (*mean*)

$$\begin{aligned} SS_M &= n \cdot \bar{y}^2 \\ &= 25 \cdot (-14,8549)^2 \\ &= 5.516,70 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat error

$$\begin{aligned} SS_{\text{Faktor}} &= SS_A + SS_B + SS_C + SS_D + SS_E + SS_F \\ &= 84,20 + 11,21 + 13,7 + 16,47 + 1,92 + 29,66 \\ &= 157,16 \end{aligned}$$

Residual error

$$\begin{aligned} SS_e &= SS_T - SS_M - SS_{\text{Faktor}} \\ &= 5.675,68 - 5.516,70 - 157,16 \\ &= 1,82 \end{aligned}$$

Menghitung F hitung A

$$F_{\text{Rasio A}} = \frac{\square \square \square}{\square \square \square} = \frac{84,20}{1,82} = 46,26$$

### Perhitungan parameter B (*Nozzle temperatur*)

Jumlah kuadrat (*Sum of Square*)

$$SS_B = \frac{\square 1^2}{\square \square 1} + \frac{\square 2^2}{\square \square 2} + \frac{\square 3^2}{\square \square 3} + \frac{\square 4^2}{\square \square 4} + \frac{\square 5^2}{\square \square 5} + \frac{\square 6^2}{\square \square 6} - \frac{\square^2}{\square}$$

Perhitungan *sum of square* parameter B

$$\begin{aligned} SS_B &= \frac{(-71,742)^2}{5} + \frac{(-78,744)^2}{5} + \frac{(-75,383)^2}{5} + \frac{(-69,286)^2}{5} + \frac{(-76,188)^2}{5} - \frac{(-371,343)^2}{25} \\ &= 11,21 \end{aligned}$$

Rata – rata kuadrat (*Meansquare*)

$$MS_B = \frac{SS_A}{V_A} = \frac{11,21}{4} = 2,80$$

$$SS_T = \sum Y^2$$

$$\begin{aligned} &= (-13,250)^2 + (-15,943)^2 + (-9,238)^2 + (-13,009)^2 + \dots + (-11,016)^2 \\ &= 5.516,70 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat karena rata – rata (*mean*)

$$\begin{aligned} SS_M &= n \cdot \bar{y}^2 \\ &= 25 \cdot (-14,8549)^2 \\ &= 5.516,70 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat error

$$\begin{aligned} SS_{\text{Faktor}} &= SS_A + SS_B + SS_C + SS_D + SS_E + SS_F \\ &= 84,20 + 11,21 + 13,7 + 16,47 + 1,92 + 29,66 \\ &= 157,16 \end{aligned}$$

Residual error

$$\begin{aligned} SS_e &= SS_T - SS_M - SS_{\text{Faktor}} \\ &= 5.675,68 - 5.516,70 - 157,16 \\ &= 1,82 \end{aligned}$$

Menghitung F hitung B

$$F_{\text{Rasio B}} = \frac{SS_B}{SS_E} = \frac{11,21}{1,82} = 6,15$$

### Perhitungan parameter C (*Printingspeed*)

Jumlah kuadrat (*sum of square*)

$$SS_C = \frac{c1^2}{n_{c1}} + \frac{c2^2}{n_{c2}} + \frac{c3^2}{n_{c3}} + \frac{c4^2}{n_{c4}} + \frac{c5^2}{n_{c5}} + \frac{c6^2}{n_{c6}} - \frac{T^2}{N}$$

Perhitungan *sum of square* parameter C

$$SS_C = \frac{(-75,123)^2}{5} + \frac{(-80,735)^2}{5} + \frac{(-74,189)^2}{5} + \frac{(-70,601)^2}{5} + \frac{(-70,725)^2}{5} - \frac{(-371,373)^2}{25}$$

$$=13,7$$

Rata – rata kuadrat (*Meansquare*)

$$MS_C = \frac{SS_C}{V_C} = 3,42$$

$$SS_T = \sum Y^2$$

$$= (-13,250)^2 + (-15,943)^2 + (-9,238)^2 + (-13,009)^2 + \dots + (-11,016)^2$$

$$= 5.516,70$$

Jumlah kuadrat karena rata – rata (*mean*)

$$SS_M = n \cdot \bar{y}^2$$

$$= 25 \cdot (-14,8549)^2$$

$$= 5.516,70$$

Jumlah kuadrat error

$$SS_{Faktor} = SS_A + SS_B + SS_C + SS_D + SS_E + SS_F$$

$$= 84,20 + 11,21 + 13,7 + 16,47 + 1,92 + 29,66$$

$$= 157,16$$

Residual error

$$SS_e = SS_T - SS_M - SS_{Faktor}$$

$$= 5.675,68 - 5.516,70 - 157,16$$

$$= 1,82$$

Menghitung F hitung C

$$F_{RasioC} = \frac{SS_C}{SS_E} = \frac{13,7}{1,82} = 7,52$$

**Perhitungan parameter D (*Coolingspeed*)**

Jumlah kuadrat (*sum of square*)

$$SS_D = \frac{D1^2}{n_{D1}} + \frac{D2^2}{n_{D2}} + \frac{D3^2}{n_{D3}} + \frac{D4^2}{n_{D4}} + \frac{D5^2}{n_{D5}} + \frac{D6^2}{n_{D6}} - \frac{T^2}{N}$$

Perhitungan *sum of square* parameter D

$$SS_D = \frac{(-76,865)^2}{5} + \frac{(-74,677)^2}{5} + \frac{(-66,335)^2}{5} + \frac{(-77,129)^2}{5} + \frac{(-76,367)^2}{5} - \frac{(-371,373)^2}{25}$$

$$= 16,47$$

Rata – rata kuadrat (*Meansquare*)

$$MS_D = \frac{SS_D}{V_D} = 4,11$$

$$\begin{aligned}
SS_T &= \sum Y^2 \\
&= (-13,250)^2 + (-15,943)^2 + (-9,238)^2 + (-13,009)^2 + \dots + (-11,016)^2 \\
&= 5.516,70
\end{aligned}$$

Jumlah kuadrat karena rata – rata (*mean*)

$$\begin{aligned}
SS_M &= n \cdot \bar{y}^2 \\
&= 25 \cdot (-14,8549)^2 \\
&= 5.516,70
\end{aligned}$$

Jumlah kuadrat error

$$\begin{aligned}
SS_{\text{Faktor}} &= SS_A + SS_B + SS_C + SS_D + SS_E + SS_F \\
&= 84,20 + 11,21 + 13,7 + 16,47 + 1,92 + 29,66 \\
&= 157,16
\end{aligned}$$

Residual error

$$\begin{aligned}
SS_e &= SS_T - SS_M - SS_{\text{Faktor}} \\
&= 5.675,68 - 5.516,70 - 157,16 \\
&= 1,82
\end{aligned}$$

Menghitung F hitung D

$$F_{\text{Rasio D}} = \frac{SS_D}{SS_E} = \frac{16,47}{1,82} = 9,04$$

**Menghitung parameter E (*Flowrate*)**

Jumlah kuadrat (*sum of square*)

$$SS_E = \frac{E1^2}{n_{E1}} + \frac{E2^2}{n_{E2}} + \frac{E3^2}{n_{E3}} + \frac{E4^2}{n_{E4}} + \frac{E5^2}{n_{E5}} + \frac{E6^2}{n_{E6}} - \frac{T^2}{N}$$

Perhitungan *sum of square* parameter E

$$\begin{aligned}
SS_E &= \frac{(-74,053)^2}{5} + \frac{(-75,763)^2}{5} + \frac{(-71,954)^2}{5} + \frac{(-73,594)^2}{5} + \frac{(-75,571)^2}{5} - \frac{(-370,935)^2}{25} \\
&= 1,92
\end{aligned}$$

Rata – rata kuadrat (*Meansquare*)

$$MS_E = \frac{SS_E}{V_E} = 0,48$$

$$\begin{aligned}
SS_T &= \sum Y^2 \\
&= (-13,250)^2 + (-15,943)^2 + (-9,238)^2 + (-13,009)^2 + \dots + (-11,016)^2 \\
&= 5.516,70
\end{aligned}$$

Jumlah kuadrat karena rata – rata (*mean*)

$$\begin{aligned}SS_M &= n \cdot \bar{y}^2 \\ &= 25 \cdot (-14,8549)^2 \\ &= 5.516,70\end{aligned}$$

Jumlah kuadrat error

$$\begin{aligned}SS_{\text{Faktor}} &= SS_A + SS_B + SS_C + SS_D + SS_E + SS_F \\ &= 84,20 + 11,21 + 13,7 + 16,47 + 1,92 + 29,66 \\ &= 157,16\end{aligned}$$

Residual error

$$\begin{aligned}SS_e &= SS_T - SS_M - SS_{\text{Faktor}} \\ &= 5.675,68 - 5.516,70 - 157,16 \\ &= 1,82\end{aligned}$$

Menghitung F hitung E

$$F_{\text{RasioE}} = \frac{SS_E}{SS_E} = \frac{1,92}{1,82} = 1,05$$

### Perhitungan parameter F (*Type infill*)

Jumlah kuadrat (*sum of square*)

$$SS_F = \frac{F1^2}{n_{F1}} + \frac{F2^2}{n_{F2}} + \frac{F3^2}{n_{F3}} + \frac{F4^2}{n_{F4}} + \frac{F5^2}{n_{F5}} + \frac{F6^2}{n_{F6}} - \frac{T^2}{N}$$

Perhitungan *sum of square* parameter F

$$\begin{aligned}SS_F &= \frac{(-75,418)^2}{5} + \frac{(-76,717)^2}{5} + \frac{(-64,842)^2}{5} + \frac{(-81,386)^2}{5} + \frac{(-73,001)^2}{5} - \frac{(-371,364)^2}{25} \\ &= 29,66\end{aligned}$$

Rata – rata kuadrat (*Meansquare*)

$$MS_F = \frac{SS_F}{V_F} = 7,41$$

$$SS_T = \sum Y^2$$

$$\begin{aligned}&= (-13,250)^2 + (-15,943)^2 + (-9,238)^2 + (-13,009)^2 + \dots + (-11,016)^2 \\ &= 5.516,70\end{aligned}$$

Jumlah kuadrat karena rata – rata (*mean*)

$$\begin{aligned}SS_M &= n \cdot \bar{y}^2 \\ &= 25 \cdot (-14,8549)^2\end{aligned}$$

$$= 5.516,70$$

Jumlah kuadrat error

$$\begin{aligned} SS_{\text{Faktor}} &= SS_A + SS_B + SS_C + SS_D + SS_E + SS_F \\ &= 84,20 + 11,21 + 13,7 + 16,47 + 1,92 + 29,66 \\ &= 157,16 \end{aligned}$$

Residual error

$$\begin{aligned} SS_e &= SS_T - SS_M - SS_{\text{Faktor}} \\ &= 5.675,68 - 5.516,70 - 157,16 \\ &= 1,82 \end{aligned}$$

Menghitung F hitung F

$$F_{\text{Rasio}} = \frac{SS_F}{SS_E} = \frac{29,66}{1,82} = 15,29$$

Kuadrat tengah error

$$\begin{aligned} MS_{\text{Error}} &= \frac{SS_E}{V_{\text{Error}}} = \frac{1,82}{0} \\ &= \text{Tidak dapat dibagi dengan 0} \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat total

$$\begin{aligned} SS_{\text{Total}} &= SS_A + SS_B + SS_C + SS_D + SS_E + SS_F + SS_e \\ &= 84,20 + 11,21 + 13,7 + 16,47 + 1,92 + 29,66 + 1,82 \\ &= 158,98 \end{aligned}$$

Hasil dari perhitungan analisis variansi terhadap rasio S/N dapat dilihat pada Tabel berikut :

Tabel 4. 12 Analisis Variansi rasio S/N

Sumber	V	SS	MS	F
<i>Layer Thickness</i>	4	84,20	21,05	46,26
<i>Type Infill</i>	4	11,21	2,80	6,15
<i>Cooling Speed</i>	4	13,7	3,42	7,52
<i>Printing Speed</i>	4	16,47	4,11	9,40
<i>Nozzel Temperature</i>	4	1,92	0,48	1,05
<i>Flowrate</i>	4	29,66	7,41	16,29
Error	0	1,82	-	
Total	24	158,98		

Sumber : Hasil Perhitungan

**Tabel 4. 13 ANOVA**

**General Linear Model: S/N versus Layer Thickness; PrintingSpeed; ...**

Analysis of Variance for S/N, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
<i>layer thickness</i>	4	83,9773	83,9773	20,9943	*	*
<i>Nozzle temperature</i>	4	11,3101	11,3101	2,8275	*	*
<i>Printing speed</i>	4	13,5820	13,5820	3,3955	*	*
<i>Cooling speed</i>	4	16,3287	16,3287	4,0822	*	*
<i>Flow rate</i>	4	1,5517	1,5517	0,3879	*	*
<i>Type infill</i>	4	29,7267	29,7267	7,4317	*	*
Error	0	*	*	*	*	*
Total	24	156,4765				

Sumber : Hasil Perhitungan *software* analisis

**Tabel 4. 14 Keputusan Uji**

Komparasi Terhadap Respon	F-Test	F Tabel (0,05;4;24)	Keputusan Uji
<i>Layer Thickness</i>	46,26		H0 ditolak
<i>Printing Speed</i>	6,15		H0 ditolak
<i>Nozzle Temperature</i>	7,52		H0 ditolak
<i>Type Infill</i>	9,04	2,78	H0 ditolak
<i>Flow rate</i>	1,05		H0 diterima
<i>Cooling Speed</i>	16,29		H0 ditolak

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari data diatas dapat dilihat bahwa nilai F-Test dari parameter *layer thickness*, *flow rate* dan *type infill* memiliki pengaruh yang signifikan dikarenakan nilai F-Test lebih besar dibandingkan dengan nilai F-Tabel terhadap kekasaran permukaan yang berarti H0 ditolak. Sedangkan nilai F-Test dari

parameter *printingspeed*, *nozzle temperature* dan *coolingspeed* tidak memiliki pengaruh yang signifikan dikarenakan nilai *F-Test* lebih kecil dibandingkan nilai *F-Tabel* yang berarti  $H_0$  diterima.





## **BAB V**

### **Kesimpulan dan Saran**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang telah di lakukan dari penelitian yang berjudul “Pengaruh Proses 3D Printing Terhadap Kekasaran Menggunakan Filament ESUN PLA+, Menggunakan Metode Taguchi” dapat di ambil kesimpulan sebagai berikut:

Pada hasil pengujian yang dilakukan terdapat 2 data uji yaitu data bagian samping dan data bagian atas, dari 6 faktor yang di uji (*layer thickness, printing speed, nozzle temperature, type infill, flowrate dan cooling speed*) dengan 5 level untuk setiap faktor dimana terdapat pengaruh kekasaran terhadap beberapa faktor tersebut, ternyata faktor *layer thickness* (0,24), *flowrate* (45), *nozzle temperature* (220), *printingspeed* (50), *coolingspeed* (60) dan *typeinfill (triangles)*.memberikan pengaruh yang paling besar terhadap hasil kekasaran material filamen ESUN PLA+ untuk sisi bagian atas.

Pada sisi bagian samping urutan faktor yang memiliki pengaruh terbesar hingga terkecil terhadap karakteristik kekasaran yaitu *layer thickness* (0,18), *flowrate* (105), *nozzle temperature* (225), *printingspeed* (50), *coolingspeed* (60) dan *typeinfill (cubic)* memberikan pengaruh terhadap hasil kekasaran material ESUN PLA+.

#### **5.2 Saran**

1. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan memvariasikan orientasi yang berbeda untuk analisa.
2. Pada penelitian lebih lanjut disarankan agar lebih hati – hati dalam menentukan parameter agar dapat memudahkan dalam proses penyelesaian pengolahan data dengan cepat.

## DAFTAR PUSTAKA

AgrisSeptiawan, (2017). Pengaruh Parameter Proses Ektrusi 3D Printer Terhadap Sifat Mekanis Cetak Komponen Berbahan Filamen PLA. Halaman 21-22 .

ArisSetiawan, WiroKurniawan, N, Arumsari. Optimasi Paramter 3D Printing Terhadap Keakuratan Dimensi dan Kekasaran Permukaan Produk Menggunakan Metode Taguchi Grey Relational Analysis .e-ISSN No. 2654-8631 Halaman 165-168 .

Aryswan, A., Hakim, R. & Saputra, M., 2019. Analisa Kekasaran Permukaan Produk Mesin Cetak Tiga Dimensi Dengan Material *Acrylonitrile Butadiene Styrene* Terlapis Cat Emulsi. *Teknologi dan Riset Terapan*, Volume 1, pp. 72-75.

Bayu Wiro Karuniawan<sup>1</sup>, Farizi Rachman<sup>2</sup>, Andik Aris Setiawan<sup>3</sup>., 2019. Optimasi Parameter Mesin *Fused Deposition Modelling* (FDM) Terhadap Kekasaran Permukaan Menggunakan Metode Taguchi. *Volume 6, Nomor 2*

Carneiro , O . S , Silva , A . F .and Gomes , R . (2015) . Fused Deposition Modelling with Polypropylene . *Journals of Materials and Design* , 83 , 768-776 .

Fefe .YopiY , Yantono . Juliana , Anggono . 2017 . Optimasi Respon Kekuatan Flexural Spesimen Produk Fused Deposition Modelling Dengan Metode Taguchi . Halaman 1-5 .

Hakim, R., Saputra, I., Utama, G. & Setyoadi, Y., 2019. Pengaruh Temperatur Nozzle dan Base Plate Pada Material PLA Terhadap Nilai Masa Jenis dan Kekerasan permukaan Produk Pada Mesin Leapfrog Creator 3D Printer. *Teknologi dan Riset Terapan (JATRA)*, Volume 1, pp. 1-8.

Hakim, R. & Sutisna, N., 2019. Analisa Awal Kekasaran Permukaan Hasil Produksi Mesin Cetak Tiga Dimensi Terhadap Pengaruh Variasi Grit Size Sand Paper. *Teknologi dan Riset Terapan (JATRA)*, Volume 21, pp. 134-138.

Ikhwan Taufik<sup>1</sup>, Herru Santosa Budiono<sup>2</sup>, Herianto<sup>3</sup>, Deni Andriyansyah., 2020. Pengaruh Printing Speed Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Hasil Additive Manufacturing Dengan Polylactic Filament. *Journal of Mechanical Engineering*, Vol. 4, No. 2

Karuniawan, B., Rachman, F. & Setiawan, A., 2019. Optimasi Parameter Mesin Fused Deposition Modelling (FDM) Terhadap Kekerasan Permukaan Produk Menggunakan Metode Taguchi. *Techno Bahari*, Volume 6, pp. 23-28.

Munadi, S., 1998. *Dasar-dasar metrologi industri*. jakarta: proyek pengembangan lembaga pendidikan tenaga kependidikan.

Sahputra, B., Hakim, R. & Saputra, I., 2018. Studi Parameter Temperatur Nozzle dan Base Plate pada Materiak ABS Sebagai Bahan Baku 3D Printer Terhadap Kehalusan Permukaan. Pp. 1-10.

Mohammad S. Alsoufi\* , Abdulrhman E. Elsayed., 2018. *HowSurfaceRoughness Performance ofPrintedPartsManufacturedby Desktop FDM 3D Printer with PLA+ isInfluencedbyMeasuringDirection*. *American Journal of Mechanical Engineering*, vol. 5

Pristiansyah, Hasdiansyah& Sugiyarto, 2019. Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Eflex. *Manutech* , Volume 11, pp. 33-40

Taufik, I., Budiono, S. H., Herianto & Andriyansyah, D., 2020. Pengaruh PrintingSpeed Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Hasil *Additive Manufacturing* Dengan *PolylacticAcidFilament*.*Mechanical Engineering*, 4(1), pp. 15-20

## Lampiran 1

### Daftar Riwayat Hidup



Nama : Berlian Adinata  
Tempat/Tanggal Lahir : Sungailiat, 31 Januari 2000  
Jenis Kelamin : Laki-Laki  
Alamat : Jalan Kenangan Pemali  
No. Telp : 082260972074  
Email : [berlianadinata31.ba@gmail.com](mailto:berlianadinata31.ba@gmail.com)

#### 1. Riwayat Pendidikan

- a. 2005-2011 : SD Negeri 2 Pemali
- b. 2011-2014 : SMP Negeri 2 Pemali
- c. 2014-2017 : SMK Negeri 1 Sungailiat

#### 2. Riwayat Pendidikan Non Formal

-

## Lampiran 2

### Data Bagian Atas

		<i>Surface Roughness</i> ( $\mu\text{m}$ )							
Exp no.		Titik uji 1	Titik uji 2	Titik uji 3	Titik uji 4	Titik uji 5	Titik uji 6	Rata - rata	Mean
1	Exp 1	4.350	3.635	2.996	4.321	3.526	3.969	3.800	
	Exp 2	5.741	6.179	6.925	4.421	6.529	5.677	5.912	4.760
	Exp 3	3.215	5.444	5.472	2.846	5.213	5.212	4.567	
2	Exp 1	7.250	5.722	5.249	6.442	4.782	5.552	5.832	
	Exp 2	7.322	6.128	5.432	6.113	7.376	7.832	6.700	6.259
	Exp 3	5.350	7.983	5.765	6.486	6.452	5.432	6.244	
3	Exp 1	1.870	3.680	1.769	1.675	2.646	3.761	2.566	
	Exp 2	2.679	1.325	3.244	1.521	3.461	4.670	2.816	2.882
	Exp 3	1.813	4.664	2.439	2.993	3.420	4.261	3.265	
4	Exp 1	5.660	4.777	4.821	3.869	3.342	3.525	4.333	
	Exp 2	3.966	3.225	4.576	3.943	2.530	2.675	3.270	4.376
	Exp 3	5.927	4.559	6.035	6.227	5.101	5.302	5.525	
5	Exp 1	6.325	6.865	6.340	7.888	8.691	5.451	6.926	
	Exp 2	1.741	1.522	2.681	1.765	3.669	3.425	2.467	3.917
	Exp 3	2.746	3.037	3.776	2.478	1.024	1.101	2.358	
6	Exp 1	5.549	8.725	7.822	7.523	6.425	5.340	6.879	
	Exp 2	5.625	4.741	4.996	5.655	4.417	4.667	5.016	5.816
	Exp 3	4.451	6.339	6.524	6.560	5.130	4.320	5.554	
7	Exp 1	8.263	7.525	8.525	6.629	6.525	7.296	7.460	
	Exp 2	9.525	8.583	9.324	9.525	7.511	8.786	8.868	8.391
	Exp 3	7.247	8.889	10.255	8.448	9.521	8.721	8.846	
8	Exp 1	3.324	2.425	2.155	1.769	3.651	2.690	2.669	
	Exp 2	10.441	10.687	9.151	11.453	9.671	9.935	10.218	6.290
	Exp 3	5.387	7.678	6.541	6.027	5.023	5.252	5.984	
9	Exp 1	4.225	5.341	5.493	4.924	4.543	4.745	4.878	
	Exp 2	1.231	5.889	4.926	3.761	3.522	3.416	3.790	4.798
	Exp 3	6.632	4.981	6.115	5.114	5.163	6.361	5.727	
10	Exp 1	7.706	9.277	7.986	8.126	8.676	8.720	8.415	
	Exp 2	6.333	5.697	5.741	6.675	4.464	6.781	5.948	8.017
	Exp 3	8.831	9.999	9.561	10.331	9.653	9.758	9.688	
11	Exp 1	6.780	6.686	5.411	6.133	7.546	6.965	6.586	
	Exp 2	7.541	7.751	7.599	6.311	5.970	5.813	6.815	8.040
	Exp 3	10.847	11.918	10.556	10.889	10.778	9.325	10.718	
12	Exp 1	11.911	10.781	10.525	10.750	9.677	11.143	10.752	
	Exp 2	2.765	1.451	3.769	3.541	2.310	2.920	2.792	5.986

	Exp 3	5.418	4.673	3.107	3.881	3.995	5.410	4.414	
13	Exp 1	9.988	11.322	8.766	10.622	9.567	9.553	9.966	
	Exp 2	4.576	4.682	5.876	4.422	5.614	3.832	4.833	5.896
	Exp 3	1.517	3.778	3.785	2.793	3.636	1.834	2.890	
14	Exp 1	8.726	8.562	7.541	8,896	6.833	5.967	7.754	
	Exp 2	7.551	5.881	6.691	7.420	5.912	5.768	5.537	5.200
	Exp 3	3.663	1.973	2.887	2,118	1.949	1.258	2.308	
15	Exp 1	8.650	6.920	9.320	9.691	9.525	8.115	8.703	
	Exp 2	8.651	7.702	7.888	6.561	8.832	8.388	8.003	6.720
	Exp 3	2.703	1.881	2.677	4.171	4.940	4.352	3.454	
16	Exp 1	4.342	3.666	5.260	5.765	4.941	4.251	4.704	
	Exp 2	5.665	4.861	3.651	3.743	5.520	5.837	4.879	4.367
	Exp 3	4.557	2.773	3.750	3.883	3.780	2.361	3.517	
17	Exp 1	5.798	6.555	6.765	6.890	5.760	4.769	6.089	
	Exp 2	2.753	1.105	3.745	1.969	1.431	2.778	2.296	5.543
	Exp 3	7.873	9.822	7.075	7.822	7.981	8.842	8.245	
18	Exp 1	6.888	5.765	7.553	5.882	6.549	6.321	6.993	
	Exp 2	1.241	3.783	3.371	1.767	2.321	1.980	2.410	6.210
	Exp 3	8.951	10.282	8.542	8.443	9.918	9.237	9.228	
19	Exp 1	2.545	1.861	1.413	3.420	2.332	1.165	2.122	
	Exp 2	10.575	11.021	11.643	9.541	10.441	10.819	10.673	5.133
	Exp 3	2.988	1.380	2.566	3.789	3.779	1.132	2.605	
20	Exp 1	3.525	5.643	5.261	4.619	2.198	3.761	4.161	
	Exp 2	12.911	8.887	10.441	11.021	10.676	10.213	10.691	6.270
	Exp 3	2.357	3.547	4.364	4.988	4.987	3.501	3.957	
21	Exp 1	3.761	4.681	5.766	4.112	2.525	2.322	3.861	
	Exp 2	5.940	4.641	4.571	4.645	3.820	5.668	4.880	3.839
	Exp 3	1.967	2.681	2.983	3.038	3.855	2.143	2.777	
22	Exp 1	5.619	3.325	4.968	4.267	2.490	4.402	4.178	
	Exp 2	3.769	1.579	1.678	3.322	2.218	3.758	2.720	3.846
	Exp 3	3.115	5.730	4.573	5.416	5.591	3.410	4.639	
23	Exp 1	10.541	8.984	9.712	8.788	8.235	10.569	9.471	
	Exp 2	2.570	2.669	3.893	2.543	1.821	1.694	2.531	5.744
	Exp 3	3.338	5.669	2.571	3.713	3.888	2.903	5.229	
24	Exp 1	4.866	6.126	5.331	5.214	4.469	4.766	5.128	
	Exp 2	2.452	3.579	3.661	2.323	2.964	1.233	2.702	3.422
	Exp 3	5.889	3.993	1.233	1.881	1.371	5.327	2.437	
25	Exp 1	3.233	1.541	3.240	2.352	1.989	1.540	2.315	
	Exp 2	5.244	4.555	5.751	4.414	4.776	3.515	4.709	3.415
	Exp 3	4.670	1.399	2.999	2.141	3.873	4.250	3.222	

### Lampiran 3

#### Data Bagian Sampling

		<i>Surface Roughness</i> ( $\mu\text{m}$ )							
Exp no.		Titik uji 1	Titik uji 2	Titik uji 3	Titik uji 4	Titik uji 5	Titik uji 6	Rata - rata	Mean
1	Exp 1	13.787	14.122	13.787	13.976	14.286	13.599	13.925	13.779
	Exp 2	13.458	14.450	14.668	15.254	14.226	13.857	14.326	
	Exp 3	12.825	12.712	13.212	13.207	13.117	13.454	13.087	
2	Exp 1	13,74	13,832	14,566	16,983	16,258	11,677	14.509	13.323
	Exp 2	11.249	11.227	12.845	12.032	11.379	13.540	12.053	
	Exp 3	11.670	13.823	14.878	14.413	13.126	12.537	13.407	
3	Exp 1	13.638	15.272	11.017	13.464	12.311	12.783	13.080	13.398
	Exp 2	12.585	11.425	14.389	12.220	12.740	13.132	12.748	
	Exp 3	15.530	15.945	13.722	15.612	12.413	12.980	14.367	
4	Exp 1	17.054	18.594	16.418	16.477	15.385	18.002	16.991	15.859
	Exp 2	13.750	15.820	14.365	12.789	14.142	14.320	14.192	
	Exp 3	17.412	16.253	15.454	15.573	16.688	16.998	16.396	
5	Exp 1	13.258	13.714	13.789	14.544	13.642	14.340	13.881	15.137
	Exp 2	14.520	13.673	13.822	13.751	14.132	14.255	14.025	
	Exp 3	16.320	18.880	16.570	16.943	17.670	18.663	17.507	
6	Exp 1	13.653	14.750	13.946	15.650	14.736	15.077	14.635	14.317
	Exp 2	15.253	13.778	12.975	12.824	12.658	12.777	13.377	
	Exp 3	15.812	14.148	15.980	15.993	13.943	13.764	14.940	
7	Exp 1	16.765	15.890	15.990	16.540	15.980	15.780	16.157	15.758
	Exp 2	15.624	16.512	15.983	16.577	16.753	15.924	16.288	
	Exp 3	15.780	13.461	15.413	15.416	14.343	14.581	14.832	
8	Exp 1	16,115	11.335	11.772	11.768	12.319	15.766	13.179	12.545
	Exp 2	11.411	11.523	14.723	12.688	11.922	11.423	12.281	
	Exp 3	11.640	11.210	12.732	12.392	12.752	12.320	12.176	
9	Exp 1	17.373	17.951	15.804	12.262	12.644	11.948	14.663	13.297
	Exp 2	12.672	11.742	11.839	14.470	11.320	13.231	12.545	
	Exp 3	11.210	11.277	13.701	12.490	13.672	13.761	12.685	
10	Exp 1	14.843	15.881	16.329	18.644	17.458	18.522	16.946	15.039
	Exp 2	16.418	17.230	17.584	15.739	12.440	12.888	15.383	
	Exp 3	13.430	13.923	11.413	12.667	12.930	12.372	12.789	
11	Exp 1	16.095	16.143	15.399	15.016	16.599	14.423	15.612	16.635
	Exp 2	15.371	18.470	18.713	17.626	16.573	14.679	16.905	
	Exp 3	16.560	16.872	17.672	17.872	16.549	18.813	17.389	
12	Exp 1	14.888	12.747	12.865	14.627	14.162	13.017	13.717	14.928
	Exp 2	14.568	14.980	13.891	12.542	12.888	14.870	13.958	

	Exp 3	16.610	16.678	18.585	16.930	17.088	16.769	17.110	
13	Exp 1	13.748	13.327	14.525	16.741	14.976	13.945	14.543	
	Exp 2	13.647	13.932	13.393	14.722	16.981	13.760	14.405	15.972
	Exp 3	17.812	19.656	18.515	18.644	19.832	18.364	18.970	
14	Exp 1	16.028	16.378	16.287	16.484	16.198	16.312	16.281	
	Exp 2	16.113	15.581	15.370	15.280	16.879	15.573	15.799	15.521
	Exp 3	13.730	15.469	14.476	13.329	14.679	14.945	14.483	
15	Exp 1	13.247	13.641	14.373	15.124	14.767	15.886	14.506	
	Exp 2	15.412	15.731	13.470	14.312	13.280	12.842	14.174	14.174
	Exp 3	12.612	12.992	15.560	13.913	14.201	13.777	13.844	
16	Exp 1	15.887	16.152	15.985	15.885	16.052	15.955	15.992	
	Exp 2	16.342	15.147	15.913	16.613	15.264	14.699	15.663	14.701
	Exp 3	12.842	11.408	13.570	11.841	12.212	12.831	12.450	
17	Exp 1	16.587	16.977	17.526	17.525	16.855	16.752	17.037	
	Exp 2	15.912	16.392	16.686	17.740	16.893	17.970	16.932	15.633
	Exp 3	12.694	13.293	11.572	12.762	14.673	12.642	12.931	
18	Exp 1	14.920	15.145	15.232	14.869	14.752	15.242	15.027	
	Exp 2	14.813	14.866	14.761	14.351	15.763	14.201	14.792	14.635
	Exp 3	12.840	14.570	13.679	13.932	15.908	13.590	14.086	
19	Exp 1	13.920	14.012	13.867	14.155	14.240	14.168	14.060	
	Exp 2	13.614	13.670	14.412	13.849	13.877	13.340	16.988	14.600
	Exp 3	11.232	11.678	13.211	13.805	15.033	14.673	12.754	
20	Exp 1	17.850	16.988	17.594	18.477	15.525	18.311	17.457	
	Exp 2	18.744	17.856	16.470	16.699	15.570	16.591	16.174	14.461
	Exp 3	11.825	11.497	13.421	14.669	12.463	12.650	12.754	
21	Exp 1	16.335	16.458	15.650	16.750	17.240	15.560	16.613	
	Exp 2	14.530	15.897	14.793	14.477	16.586	14.762	15.174	14.837
	Exp 3	13.549	12.388	12.312	12.513	14.417	11.382	12.725	
22	Exp 1	17.925	16.191	15.051	17.336	16.641	16.535	16.613	
	Exp 2	16.133	16.292	16.662	17.372	18.870	18.832	17.356	16.576
	Exp 3	14.744	15.464	14.992	15.317	16.717	17.384	15.760	
23	Exp 1	19.459	20.335	18.890	19.242	19.482	17.542	19.158	
	Exp 2	15.549	14.532	15.893	13.247	15.893	13.918	14.878	16.601
	Exp 3	14.629	16.303	14.642	16.477	15.832	16.676	15.769	
24	Exp 1	13.747	15.841	16.424	13.120	15.284	13.193	14.610	
	Exp 2	16.973	15.672	15.524	16.990	14.532	16.714	16.067	15.478
	Exp 3	14.875	14.612	16.694	16.563	15.240	15.840	15.759	
25	Exp 1	14.068	14.885	16.365	15.512	15.956	14.952	15.289	
	Exp 2	17.763	16.432	14.525	16.679	17.942	17.966	16.884	15.438
	Exp 3	14.335	13.415	14.763	13.920	12.669	15.746	14.141	



