Analisis Simulasi dan Prototipe 3D Printing pada Desain Komponen Mesin dengan *Anycubic 4Max Pro*

Diego Allasselcida[1], Desmarita Leni[2]
Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat[1], Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat [2]
e-mail: diegoallasselcida@gmail.com[1,] desmaritamesin.umsb@gmail.com[2]

ABSTRACT
3D printing or additive manufacturing technology has revolutionized various industries with its ability to print three-dimensional objects quickly and precisely. This study aims to analyze the level of accuracy of print results using the Anycubic 4Max Pro 3D Printer in printing a simple gearbox-shaped keychain. The research method includes literature studies, CAD design using SolidWorks 2024, printing with PLA filament, and evaluation of print results through dimensional measurements using a caliper which is carried out 3 times, then finding the average value of the measurement results, and comparing it with the size in the CAD design. The results showed that there was an average dimensional deviation of 0.16–0.20 mm compared to the initial design. Positive deviations occurred in the horizontal dimension, while negative deviations occurred in the vertical dimension due to the influence of layer height and gravity. In addition, the printed surface was not completely smooth due to the layered extrusion effect, and several minor defects were found such as imperfect holes in the gear and filament threads filling the gaps in the frame. This study confirms that optimization of printing parameters, such as layer height and nozzle size, can improve the accuracy and quality of 3D printing products. Further studies are needed to test other parameters to improve the precision of print results.
Keywords*: 3D Printing, dimensional accuracy, layer height, print quality, additive manufacturing.*

ABSTRAK
Teknologi 3D printing atau additive manufacturing telah merevolusi berbagai industri dengan kemampuannya mencetak objek tiga dimensi secara cepat dan presisi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat akurasi hasil cetak menggunakan *3D Printer Anycubic 4Max Pro* dalam mencetak gantungan kunci berbentuk *gearbox* sederhana. Metode penelitian meliputi studi literatur, desain CAD menggunakan *SolidWorks 2024*, pencetakan dengan filamen PLA, serta evaluasi hasil cetak melalui pengukuran dimensi menggunakan jangka sorong yang dilakukan 3 kali pengukuran kemudian mencari nilai rata-rata hasil pengukuran, dan membandingkannya dengan ukuran pada desain CAD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat penyimpangan dimensi rata-rata sebesar 0,16–0,20 mm dibandingkan desain awal. Penyimpangan positif terjadi pada dimensi horizontal, sedangkan penyimpangan negatif terjadi pada dimensi vertikal akibat pengaruh *layer height* dan gravitasi. Selain itu, permukaan hasil cetak tidak sepenuhnya halus karena efek ekstrusi berlapis, serta ditemukan beberapa cacat minor seperti lubang yang tidak sempurna pada gear dan benang filamen yang mengisi celah pada frame. Penelitian ini menegaskan bahwa optimasi parameter pencetakan, seperti layer height dan ukuran nozzle, dapat meningkatkan akurasi dan kualitas produk 3D printing. Studi lebih lanjut diperlukan untuk menguji parameter lainnya guna meningkatkan presisi hasil cetak.
Kata kunci: *3D Printing*, akurasi dimensi, *layer height*, kualitas cetak, *additive manufacturing.*

PENDAHULUAN

3D Printing, atau dikenal juga sebagai *additive manufacturing*, adalah teknologi manufaktur modern yang memungkinkan pembuatan objek tiga dimensi secara lapis demi lapis menggunakan bahan seperti plastik, logam, resin, atau keramik [1]. Teknologi ini telah merevolusi berbagai industri, mulai dari manufaktur, arsitektur, hingga kesehatan, karena kemampuannya untuk mencetak objek dengan desain yang kompleks, cepat, dan biaya yang lebih terjangkau dibandingkan metode tradisional [2]. Pada awalnya, 3D printing banyak digunakan untuk membuat prototipe (rapid prototyping), tetapi seiring perkembangan teknologi, penggunaannya semakin meluas, termasuk dalam pembuatan alat medis, komponen otomotif, hingga perhiasan. Keunggulan utama *3D printing* terletak pada fleksibilitas desain, pengurangan limbah material, dan kemampuannya untuk memproduksi barang sesuai kebutuhan tanpa memerlukan alat cetak khusus. Dengan potensi besar untuk mendukung inovasi di berbagai bidang, *3D printing* kini menjadi salah satu teknologi yang penting dalam era Revolusi Industri 4.0. Melalui penggabungan antara perangkat lunak desain 3D, printer, dan bahan cetak, *3D printing* membuka peluang baru dalam menciptakan solusi kreatif dan efisien untuk tantangan manufaktur masa depan. Produk manufaktur yang dihasilkan melalui teknologi 3d printing tentunya diharapkan memiliki kualitas yang baik agar dapat digunakan sesuai dengan tujuan pembuatannya. Salah satu parameter untuk menentukan kualitas hasil cetak *3D printing* adalah kesesuaian desain dengan produk hasil cetak. Hal ini dapat berupa bentuk hasil cetak yang dihasilkan sama dengan bentuk desain yang telah dibuat. Parameter seperti ukuran benda yang dihasilkan hingga tingkat kehalusan permukaan hasil cetak dengan *3D printing* juga menjadi tolak ukur baiknya suatu alat printing

ISSN 2775-5630

menghasilkan produk yang diinginkan [3]. Pada bidang industri mainan atau aksesoris 3d printing digunakan untuk membuat produk berupan komponen-komponen yang berukuran relatif kecil seperti gigi roda. Apabila keakuratan dimensi dan kehalusan permukaan produk yang dihasilkan tidak memenuhi standar yang diharapkan maka produk tersebut tidak dapat digunakan [4]. Hal ini dapat mengakibatkan terganggunya proses produksi dalam industri apabila desain yang telah dibuat tidak bisa diproduksi sesuai dengan fungsinya. Untuk itu sebelum dilaksanakan proses produksi, perlu dilakukan penelitian tentang sejauh mana keakuratan sebuah alat 3d printing dapat menghasilkan produk yang berfungsi sesuai dengan desain awalnya. Beberapa penelitian sebelumnya juga telah menguji keakuratan dimensi komponen cetak 3D, yang menyoroti kesalahan ukuran dan keterbatasan dalam teknologi tersebut [5]. Untuk menilai keakuratan printer 3D, para peneliti telah mengembangkan metodologi yang melibatkan pencetakan dan pengukuran produk sampel, yang dapat menentukan kualitas untuk elemen struktural tertentu dan menghitung koefisien akurasi rata-rata [6]. Studi-studi ini menekankan pentingnya standarisasi dan jaminan kualitas dalam pencetakan 3D, khususnya untuk aplikasi kritis [7]. Penelitian ini bertujuan untuk melihat seberapa akurat hasil cetak *3D Printer Anycubic 4Max Pro* dalam mencetak gantungan kunci berbentuk *gearbox* sederhana. Selain pengukuran menggunakan alat ukur, penelitian juga akan difokuskan pada seberapa halus permukaan hasil cetak.

METODE

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa akurat hasil pencetakan *3D Printing* dengan menggunakan *printer Anycubic 4Max Pro*. Keakuratan diukur dengan cara membandingkan hasil cetak dengan desain awal. Dimensi hasil cetak diukur pada 4 bagian yang telah ditentukan dengan mengukur panjangnya menggunakan jangka sorong. Apabila terdapat sedikit perbedaan ukuran panjang maka itu akan menjadi data yang dianalisis untuk mendapatkan hasil dan kesimpulan dari penelitian ini. Kehalusan permukaan juga akan menjadi parameter dalam menilai kualitas hasil cetak dari alat *3D Printer.*

Pelaksanaan penelitian akan melalui beberapa tahap yang telah ditentukan, yaitu mulai dari studi literatur sampai dengan evaluasi hasil cetakan. Setiap tahap harus dilaksanakan dengan baik agar mendapatkan hasil yang akurat dan dapat digunakan sebagai acuan untuk penelitian lanjutan dikemudian hari. Alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Metodologi Penelitian

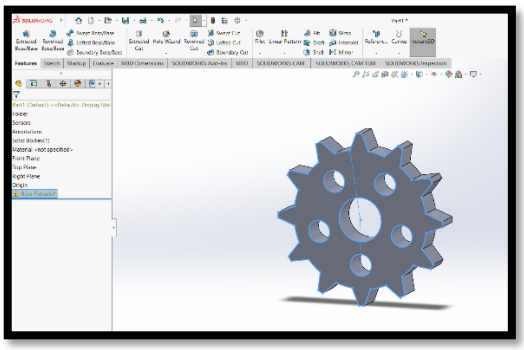
Untuk melihat sejauh mana ketelitian alat *3D Printer* maka dilakukan pengukuran secara berulang terhadap satu produk. Data pengukuran berulang, di mana variabel yang sama diukur beberapa kali pada setiap subjek, umum dilakukan dalam sebuah penelitian [8]. Pengukuran dilakukan pada bagian tertentu pada produk secara berulang. Ini dilakukan karena setiap hasil pengukuran tentu akan memiliki hasil yang bervariasi yang diakibatkan oleh ketelitian alat ukur yang kecil dan kapasitas indra pengamat. Dari skema Gambar 1 dapat diuraikan metodologi penelitian yaitu:

1. **Studi Literatur**

Penelitian diawali dengan melakukan studi literatur dari berbagi sumber yang merupakan bagian penting dan tidak terpisahkan dari penelitian, yang melibatkan analisis kritis terhadap literatur yang relevan [9]. Hal ini dilakukan agar lebih memahami tema yang akan dibahas yakni tentang *3D Printing*. Pemahaman mendasar tentang industri manufaktur diambil dari buku serta artikel yang membahas tentang *3D Printing.* Kajian juga dilakukan dengan membaca jurnal yang memuat tentang pengembangan apa saja yang sudah dilakukan dalam industri *3D Printing*, termasuk kendala apa saja yang dialami dalam pelaksanaannya. Setelah melakukan studi literatur terhadap penelitian-penelitian tentang hasil cetak *3D Printing* didapatkan data mengenai apa saja yang mempengaruhi hasil cetak tersebut. Beberapa variabel yang berpengaruh diantaranya adalah temperatur cetak, ketebalan lapisan, dan kecepatan cetak [10]. Setiap variabel tersebut berpengaruh terhadap hasil cetak *3D Printing.*

2. **Desain Komponen**

Langkah berikutnya adalah mendesain produk yang akan dicetak dengan bantuan aplikasi *Solidworks 2024*. Produk yang akan dicetak menggunakan alat *3D Printer* didesain dengan aplikasi CAD, salah satunya adalah *Solidworks.* Aplikasi CAD memiliki fitur-fitur yang memudahkan peneliti untuk membuat model jenis apa saja sesuai dengan kebutuhan. Selain itu aplikasi CAD juga dapat mengkonversi model yang telah didesain ke dalam format STL. Gambar 2. Format STL merupakan bentuk file yang dapat dibaca oleh aplikasi *slicer 3D Printer.*



Gambar 2. Desain 3D CAD

Setelah file berbentuk STL, selanjutnya di-*slice* menggunakan aplikasi *Ultimaker Cura* untuk mendapatkan *G-code* dari produk cetak. *G-code* ini yang kemudian akan dibaca oleh alat *3D Printer* untuk dilakukan pencetakan. Penelitian ini akan mecetak model berupa gantungan kunci berbentuk *gearbox* sederhana. Desain ini dipilih karena salah satu manfaat *3D Printer* yang paling banyak digunakan saat ini adalah sebagai alat cetak mainan sederhana. Ini dikarenakan kemampuan *3D Printer* yang dapat mencetak model apa saja selama model tersebut bisa dibuat dengan aplikasi CAD, baik bentuk sederhana maupun yang memiliki bentuk yang kompleks.

Alasan berikutnya memilih bentuk *gearbox* sederhana ini adalah adanya sistem roda gigi yang memiliki gigi-gigi yang saling bersinggungan untuk mentransmisikan torsi dan kecepatan dari satu poros ke poros lainnya. Ketika satu roda gigi berputar, giginya akan mendorong gigi dari roda gigi lain yang bersinggungan dengannya, menyebabkan perputaran dengan arah dan kecepatan tertentu [11]. Adanya sistem kerja roda gigi tersebut yang mana pergerakan satu komponen menentukan kemampuan kerja pada sebuah sistem tersebut akan menjadi salah satu tolak ukur dalam keberhasilan cetak alat *3D Printer*. Apabila hasil cetak produk baik dan sesuai dengan desain awal maka gantungan kunci *gearbox* sesderhana ini setiap *gear*-nya akan dapat berputar.

Terakhir alasan pemilihan desain ini adalah adanya *Assembly* atau proses menggabungkan beberapa komponen dalam model 3D untuk membentuk satu kesatuan yang berfungsi [12]. Desain produk yang akan diteliti memiliki 3 komponen utama yaitu gear I dengan diameter 20mm, gear II dengan diameter 30mm, dan *frame*. Dengan adanya 3 buah komponen maka untuk menjadi desain yang lengkap perlu dilakukan proses *assembly*. Ini juga akan menjadi parameter keberhasilan hasil cetak *3D Printer*, apabila 3 komponen yang telah didesain bisa dirakit dengan baik maka hasil cetak sudah sesuai dengan yang diharapkan. Sebaliknya jika satu atau lebih komponen-komponen tersebut tidak bisa dirakit, tentunya ada ketidaksesuaian hasil cetak dengan desain yang telah dirancang.

3. **Pencetakan Desain**

Untuk mendapatkan data analisa ketelitian hasil cetak, maka akan dilaksanakan cetak produk menggunakan alat *3D Printing Anycubic 4Max Pro*. Dilihat dari hasil penelitian-penelitian yang pernah

ISSN 2775-5630

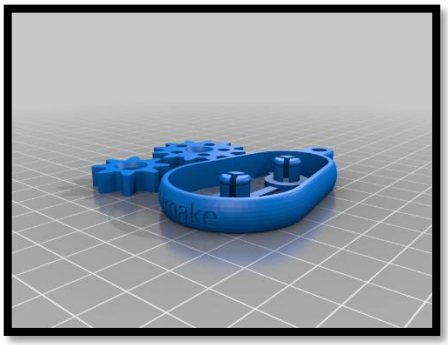
dilakukan sebelumnya, hasil cetak *3D Printing* secara umum dipengaruhi oleh beberapa variabel. Pertama yaitu temperatur yang digunakan pada saat ekstrusi. Setiap alat yang digunakan memiliki temperatur standar yang telah ditetapkan untuk penggunaannya. Apabila proses pencetakan tidak dilakukan dengan temperatur yang sesuai, maka produk yang dihasilkan tidak akan sesuai dengan yang diharapkan [7]. Ketebalan lapisan juga berpengaruh terhadap produk yang dihasilkan. Semakin teliti ketebalan lapisan yang dicetak maka hasilnya akan semakin halus dan tidak bergelombang pada permukaan produk. Variabel lainnya seperti dimensi produk yang dicetak ataupun gravitasi juga memiliki pengaruh terhadap hasil cetak 3D Printing.

Temperatur cetak dan ketebalan lapisan cetak merupakan variabel yang dapat dikontrol. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan alat sesuai dengan standar prosedur yang telah ditetapkan pada masing-masing alat. Apabila pencetakan dilakukan dengan benar maka produk yang dihasilkan akan lebih baik dan sesuai dengan desain awal. Setelah pencetakan sudah dilakukan sesuai dengan standar prosedur alat, produk yang dihasilkan masih bisa mengalami beberapa cacat minor, seperti dimensi yang sedikit berbeda dengan desain awal atau permukaan yang tidak mulus dan masih sedikit kasar. Ini dapat terjadi akibat ukuran *nozzle* yang digunakan atau variabel eksternal seperti adanya pengaruh gaya gravitasi ke bawah.



Gambar 3. Alat *3D Printer*

Persiapan alat dilakukan dengan menghubungkan alat dengan sumber daya listrik, kemudian dilakukan kalibrasi. Selanjutnya adalah mempersiapkan *filament* yang akan digunakan sebagai bahan untuk mencetak produk *3D Printing*. *Filament* yang digunakan yaitu *Poly lactic acid* (PLA) dengan diameter 1.75 mm. PLA adalah *filament* yang populer digunakan dalam pencetakan 3D. Satu lagi yang harus disiapkan yaitu desain CAD produk yang akan dicetak. Penelitian kali ini akan mencetak produk berbentuk gantungan kunci *gearbox* sederhana ini bisa dilihat pada Gambar 4, karena memiliki bentuk yang sederhana untuk dicetak dan memiliki berbagai sisi yang dapat diukur dimensinya.



Gambar 4. Produk *3D Printing*

Gantungan kunci *Gearbox* Sederhana didesain menggunakan aplikasi *Solidworks 2024.* Setelah produk selesai maka diubah ke format stl yang dapat dibaca oleh alat *3D Printing Anycubic 4Max Pro*. Desain yang sudah siap untuk dicetak kemudian dipindahkan menggunakan kartu SD ke alat *3D Printing*, kemudian proses pencetakan bisa dimulai.

Proses pencetakan dilakukan secara terpisah perkomponen. Hal ini bertujuan agar setiap komponen mendapatkan fokus penuh dari *printer*, sehingga meminimalkan cacat akibat kesalahan proses. Mencetak banyak komponen sekaligus, satu kegagalan dapat merusak seluruh rangkaian. Dengan mencetak satu per satu, risiko kegagalan lebih terlokalisasi dan tidak mempengaruhi cetakan lainnya. *Printer* dapat mengoptimalkan jalur ekstrusi atau pencetakan untuk satu komponen tanpa harus memperhitungkan banyak objek lain di area cetak. Hal ini juga dapat meminimalkan risiko gesekan atau gangguan antar komponen selama pencetakan. Apabila ada masalah dengan desain atau parameter pencetakan, cukup menghentikan satu komponen tanpa harus membuang seluruh rangkaian.

Untuk pengaturan parameter *Printer Anycubic 4Max Pro* yang digunakan pada penelitian ini yaitu, kecepatan travel sebesar 150 mm/s agar perpindahan *nozzle* lebih cepat tanpa efek *stringing*, retraksi 4–6 mm dengan kecepatan 40–60 mm/s untuk mencegah *oozing*, suhu *nozzle* 220°C sesuai rekomendasi *filament*, suhu bed 60°C. Untuk *nozzle* yang digunakan berukuran 0,2 mm.

Waktu yang dibutuhkan dalam pencetakan produk dapat dilihat pada Tabel 1 berikut :

Tabel 1. Lama Waktu Cetak

Komponen	Waktu Cetak (menit)
Gear I	8
Gear II	18
Frame	28
Total	54

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa total waktu yang dibutuhkan untuk mencetak semua komponen secara terpisah adalah 54 menit. Komponen yang membutuhkan waktu cetak paling singkat adalah gear I yang berukuran diameter 20mm. Hal ini dikarenakan gear I memiliki bentuk yang paling sederhana dan ukuran yang paling kecil. Sebaliknya, *frame* adalah komponen yang membutuhkan waktu cetak paling lama, yaitu 28 menit. Ini disebabkan karena *frame* memiliki bentuk yang paling rumit dan ukuran yang paling besar.

4. Evaluasi Hasil Cetak

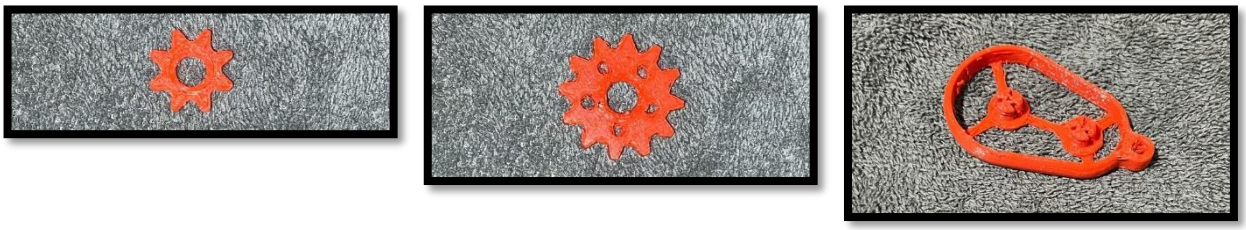
Setelah produk berhasil dicetak dengan alat *3D Printing* maka selanjutnya akan dilakukan evaluasi hasil cetak. Evaluasi hasil cetakan 3D bertujuan untuk menentukan apakah hasil cetakan telah memenuhi standar kualitas yang diharapkan serta mengidentifikasi aspek yang perlu diperbaiki dalam proses pencetakan. Beberapa parameter utama yang mempengaruhi kualitas cetakan meliputi layer height (ketebalan lapisan), infill (kepadatan isi), suhu nozzle, serta kecepatan cetak. Jika ditemukan perbedaan yang signifikan antara dimensi atau kualitas permukaan hasil cetakan dengan desain awal, maka perlu dilakukan analisis terhadap faktor penyebabnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis dilakukan untuk mengevaluasi keakuratan dimensi, kualitas permukaan, kekuatan mekanis, serta efisiensi pencetakan, guna memastikan bahwa hasil cetakan memenuhi standar yang diharapkan. Selain itu, perbandingan antara simulasi desain dan hasil cetak fisik akan dibahas untuk mengidentifikasi potensi perbedaan serta faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas cetakan, seperti parameter pencetakan, material yang digunakan, dan kondisi operasional printer. Dengan demikian, penelitian ini dapat memberikan wawasan terkait efektivitas metode pencetakan yang digunakan serta rekomendasi perbaikan untuk meningkatkan hasil cetakan 3D di masa mendatang.

Salah satu desain 3D yang dirancang dalam penelitian ini adalah ***gearbox***, yang kemudian dibuat dalam bentuk **gantungan kunci *gearbox* sederhana** menggunakan printer 3D. Secara visual, hasil cetakan sudah cukup baik dan sesuai dengan desain CAD, namun masih terdapat beberapa kekurangan dari segi kualitas fisik. Salah satu permasalahan yang ditemukan adalah adanya **tekstur bergaris-garis pada permukaan**, yang kemungkinan disebabkan oleh pengaturan ***layer height*** atau kecepatan cetak yang kurang optimal. Selain itu, bagian permukaan bawah produk terasa kasar akibat adhesi yang kuat dengan ***build plate***, sehingga saat proses pelepasan terjadi sedikit ketidaksempurnaan pada permukaan. Kekurangan ini menunjukkan bahwa meskipun hasil cetakan sudah cukup baik, masih diperlukan optimasi lebih lanjut pada **parameter pencetakan dan teknik pelepasan produk** agar kualitas cetakan dapat ditingkatkan ini dapat dilihat pada hasil cetakan Gambar 5.

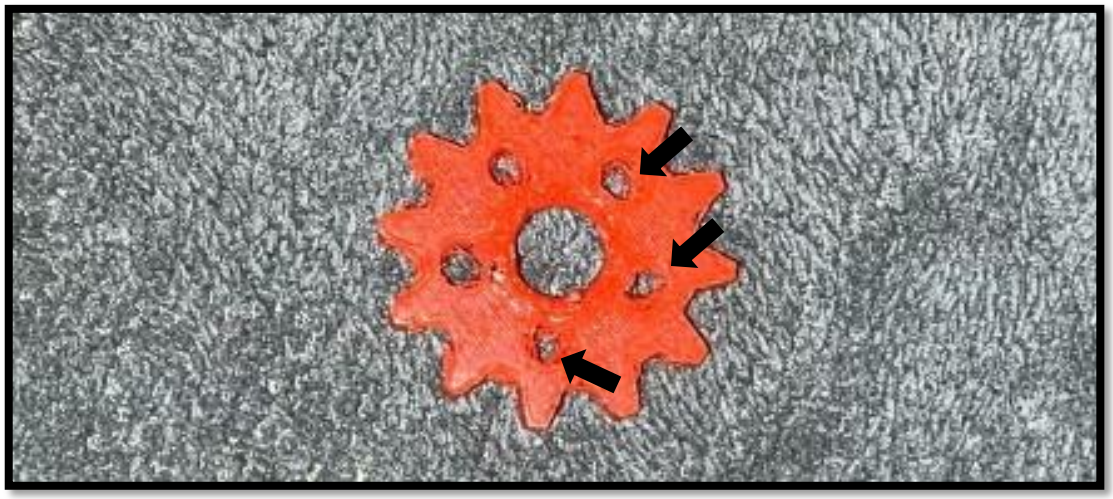
ISSN 2775-5630



(a) (b) (c)

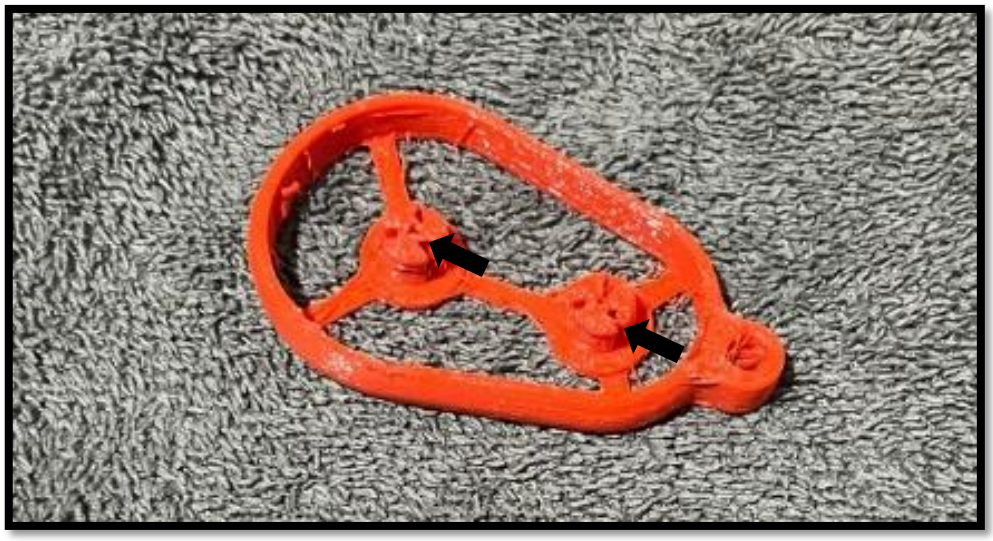
Gambar 5. a) *Gear I, b) Gear II, c) Frame*

Pada Gambar 5. a) dapat dilihat bahwa hasil cetak komponen gear I sudah cukup baik apabila dilihat pada permukaannya yang cukup bersih dan rapi. Namun jika diraba masih terasa sedikit garis-garis pada permukaan. Secara visual hasil cetak pada komponen gear I ini sudah sesuai dengan desain CAD. Berikutnya pada Gambar 6. b) terlihat gear II sudah dicetak sesuai dengan desain CAD dan tidak ada cacat yang terlalu signifikan seperti gear I. Hanya saja pada gear II dimana pada bagian dalamnya terdapat 5 buah lubang, ada 3 buah lubang yang tidak tercetak dengan baik. Terdapat cacat yang mengakibatkan lubang-lubang tersebut tidak berbentuk bulat sempurna.



Gambar 6. Cacat pada komponen *gear II*

Gambar 6. c) menunjukkan hasil cetak dari komponen *frame* sudah cukup baik dan sesuai dengan desain CAD. Terdapat sedikit cacat pada bagian tengah dari *frame* yang harusnya memiliki *gap* atau jarak, tetapi malah sedikit terisi oleh *filament* yang berbentuk benang halus.

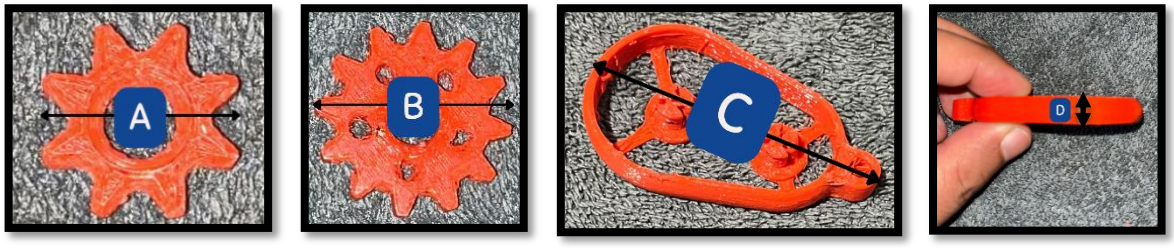


Gambar 7. Cacat pada komponen *frame*

ISSN 2775-5630

Gap tersebut berfungsi sebagai kontrol pengunci *gear* yang akan dipasangkan pada *frame*. Frame tengah tersebut bekerja dengan mekanisme apabila *gear* sedang dimasukkan, maka *frame* akan menyempit. Setelah *gear* masuk maka bagian atas dari bagian yang ditunjuk anak panah pada Gambar 7 diatas akan melebar kembali dan menahan *gear* tetap pada posisinya. Dengan adanya benang *filament* diantara *gap* tersebut mengakibatkan bagian yang ditunjuk anak panah tidak dapat bergerak dengan seharusnya dan lebih bersifat kaku. Hal ini mengakibatkan *gear* tetap bisa dipasang, tapi tidak dapat berputar dengan baik.

Setelah mengamati secara visual kehalusan permukaan hasil cetak, selanjutnya dilakukan evaluasi dimensi. Pengukuran dilakukan menggunakan alat ukur panjang jangka sorong pada bagian-bagian tertentu yang telah ditentukan pada awal penelitian. Bagian tersebut ada yang sejajar dengan sumbu vertikal dan horizontal pada produk. Bagian yang akan diukur dapat dilihat pada Gambar 8.



(a) (b) (c) (d)

Gambar 8. a) Bidang A, b) Bidang B, c) Bidang C, d) Bidang D

Huruf a), b), dan c) pada Gambar 8 menunjukkan bagian yang diukur yang sejajar dengan sumbu horizontal, sedangkan huruf d) merupakan bagian yang sejajar dengan sumbu vertikal. Hal ini bertujuan untuk melihat apakah gravitasi dan proses pencetakan dengan menumpuk lapisan demi lapisan filamen dari bawah ke atas juga berpengaruh terhadap hasil dari *3D Printing*.

Pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali pada setiap bagian. Hal ini dilakukan untuk meminimalisir kesalahan pengukuran yang dapat muncul dari pengamat. Data pengukuran final yang akan dipakai adalah nilai rata-rata dari 3 kali pengukuran yang dilakukan. Data tersebut didapatkan dengan menjumlahkan hasil pengukuran 3 kali kemudian dibagi dengan 3, maka didapatkan nilai final pengukuran. Berikut persamaan 1 yang digunakan untuk menghitung nilai rata-rata hasil pengukuran [13].

$$\bar{x} = \frac{\sum fi.xi}{\sum Fi} \quad \text{.....(1)}$$

Keterangan:

$\bar{x}$: Nilai rata-rata
fi : Frekuensi kelompok data ke-i
xi : Nilai tengah kelompok data ke-i

Dapat dilihat pada Tabel 2 berikut adalah sajian data dari hasil pengukuran sebanyak 3 kali dan data pengukuran final yang didapatkan setelah menerapkan persamaan diatas;

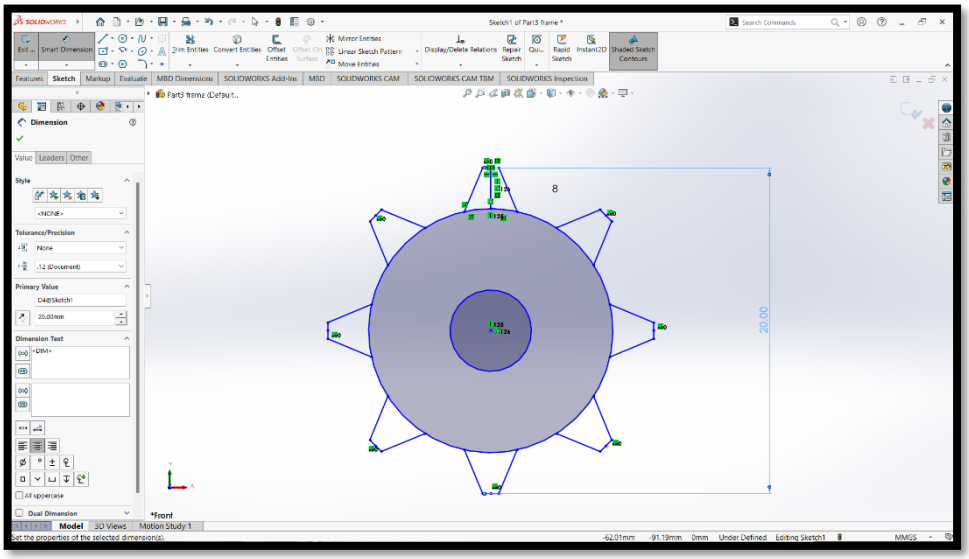
Tabel 2. Hasil Pengukuran

	A	**B**	**C**	**D**
P1	20,15	30,20	75,20	11,82
P2	20,15	30,20	75,18	11,80
P3	20,19	30,17	75,18	11,85
Mean	20,16	30,19	75,19	11,82
*) satuan dimensi : mm				

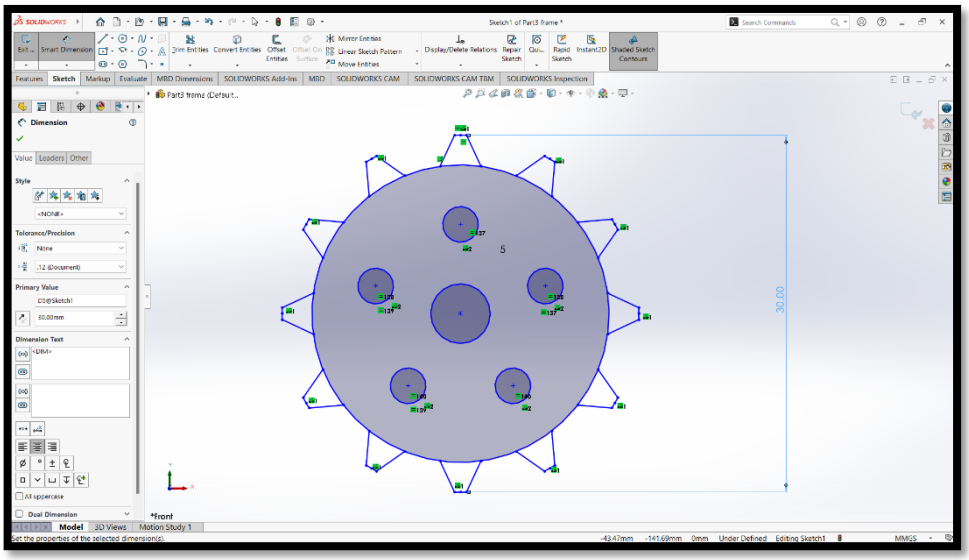
Bagian A yang merupakan diameter dari komponen *gear* I memiliki selisih ukuran terbesarnya yaitu 0,19 mm didapatkan pada pengukuran ketiga. Pada bagian B atau diameter *gear* II selisih ukuran didapatkan pada pengukuran pertama dan kedua yaitu sebesar 0,2 mm dan merupakan selisih ukuran paling besar diantara semua komponen. Bagian C yang merupakan panjang dari *frame* memiliki selisih ukuran terbesar pada pengukuran pertama yaitu sebesar 0,2 mm. Bagian A, B, dan C terjadi selisih berupa penambahan ukuran rata-rata berkisar antara 0,16-0,19 mm. Bagian D merupakan ketebalan cetak pada bagian *frame* terjadi selisih ukuran rata-rata

sebesar 0,18 mm dengan nilai selisih terbesar pada pengukuran kedua sebesar 0,2 mm. Pada bagian D ini terjadi pengurangan ukuran rata-rata.

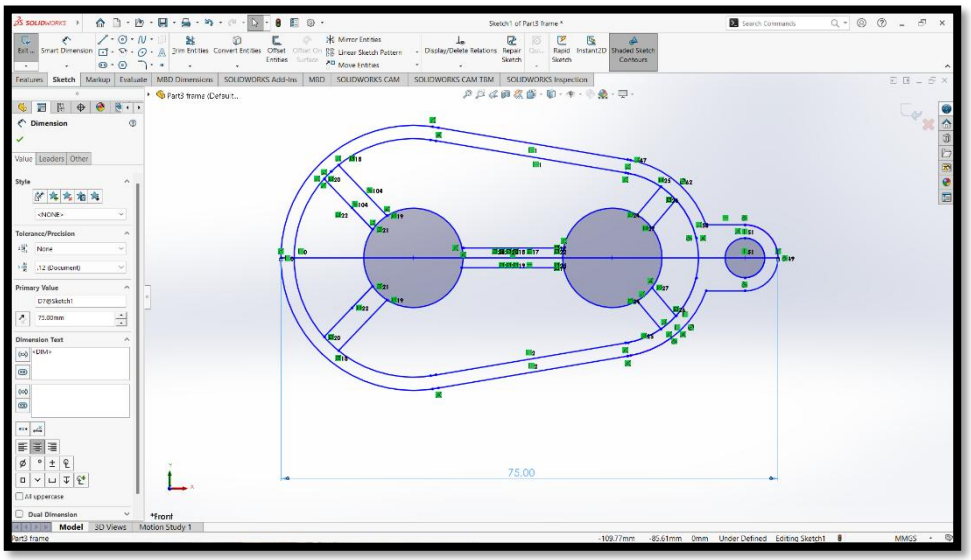
Setelah didapatkan hasil rata-rata pengukuran dimensi setiap bagian, maka kemudian akan dibandingkan dengan dimensi produk yang sudah dirancang dengan CAD. Ukuran pada desain CAD dapat dilihat pada gambar 9 berikut:



(a)



(b)



(c)

Gambar 9. a) *CAD Gear I,* b) *CAD Gear II,* c) *CAD Frame*

Data perbandingan antara hasil pengukuran rata-rata setiap bagian dengan ukuran dimensi desain CAD disajikan dalam Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Penyimpangan Ukuran

	A	**B**	**C**	**D**
Mean	20,16	30,20	75,19	11,80
CAD	20,00	30,00	75,00	12,00
GAP	0,16	0,20	0,19	0,20
*) satuan dimensi : mm				

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa ada perbedaan ukuran desain menggunakan *software SolidWorks 2024* dengan hasil cetakan. Perbedaan ukuran ini berkisar antara 0,16-0,20 mm dari ukuran yang diinginkan atau sama dengan nilai paramater *layer height* yang diatur sebelum dilakukan pencetakan. Hal ini menunjukkan bahwa besarnya penyimpangan ukuran produk hasil cetak yang didesain menggunakan *software* dipengaruhi oleh besarnya parameter *layer height* yang digunakan pada alat *3D Printer*. Sehingga untuk mengatur kualitas ketelitian dari produk yang dibuat dapat dilakukan dengan menentukan ukuran parameter *layer height* alat maupun ukuran *nozzle* yang akan digunakan.

Ini juga sejalan dengan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Abdillah et al., n.d yang menyimpulkan bahwa besarnya toleransi pada pola cor yang dibuat dengan *3D Printer* dipengaruhi oleh besarnya parameter *layer height* yang digunakan [3]. Sehingga untuk mengatur kualitas ketelitian cetak yang dibuat dapat dilakukan dengan menentukan ukuran parameter *layer height* yang digunakan. Penyimpangan ukuran yang terjadi juga terdapat dua macam, yaitu penyimpangan negatif dimana produk mengalami pengurangan ukuran dan penyimpangan positif dimana produk mengalami penambahan ukuran dari desain awal. Penyimpangan positif terjadi pada bidang A, B, dan C yang sejajar dengan sumbu horizontal. Ini dapat terjadi karena ada pengaruh gravitasi serta proses cetak yang menumpuk lapisan demi lapisan filamen dari bawah ke atas yang menyebabkan lapisan bawah sebelum mengeras sempuna perlahan-lahan akan menahan beban massa dari lapisan diatasnya. Hal ini menyebabkan lapisan bawah tersebut akan mengalami sedikit pergesaran ke samping karena adanya gaya tekan ke bawah dan mengakibatkan ukuran bertambah dari desain. Pada bidang D terjadi penyimpangan negatif yang juga dapat disebabkan oleh pengaruh gravitasi serta proses cetak yang dilakukan. Bidang D yang sejajar dengan garis gravitasi menyebabkan bagian atas menekan ke bawah sehingga ukuran hasil cetak menjadi sedikit berkurang dari desain awal.

Berdasarkan pengamatan langsung pada permukaan produk tanpa menggunakan alat bantu, dapat dilihat bahwa hasil cetak sudah cukup baik dan sesuai dengan bentuk desain awal. Permukaan produk tidak terlalu halus dan terlihat adanya lapisan-lapisan dari atas ke bawah karena proses cetak yang dilakukan per lapisan. Apabila diraba, permukaan produk juga akan terasa sedikit bergerigi.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini dapat ditarik kesimpulan hasil cetakan produk menggunakan 3D Printing, khususnya dengan *Anycubic 4Max Pro*, telah menghasilkan produk yang cukup baik dan sesuai dengan desain awal yang dibuat menggunakan *SolidWorks 2024*. Meskipun demikian, masih terdapat beberapa penyimpangan ukuran dan ketidaksempurnaan pada permukaan cetakan. Penyimpangan dimensi terjadi baik pada bidang horizontal maupun vertikal, yang disebabkan oleh pengaruh gaya gravitasi serta proses pencetakan itu sendiri. Selain itu, permukaan cetakan yang kurang halus disebabkan oleh jejak lapisan filament yang masih terasa saat diraba, akibat dari ukuran nozzle yang digunakan. Untuk memperoleh hasil cetakan yang lebih presisi dan dengan permukaan yang lebih halus, dapat dilakukan penyesuaian ukuran *nozzle* yang lebih kecil dan teliti, sehingga penyimpangan ukuran dapat diminimalkan dan kualitas cetakan meningkat. Parameter *printing* berpengaruh besar terhadap kualitas hasil cetakan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] C. W. J. Lim, K. Q. Le, Q. Lu, and C. H. Wong, "An Overview of 3-D Printing in Manufacturing, Aerospace, and Automotive Industries," *IEEE Potentials*, vol. 35, no. 4, pp. 18–22, 2016, doi: 10.1109/MPOT.2016.2540098.

[2] D. Lupton, "<scp>3D</scp> Printing," in *The Blackwell Encyclopedia of Sociology*, Wiley, 2018, pp. 1–2. doi: 10.1002/9781405165518.wbeos1072.

[3] H. Abdillah, T. Pengecoran Logam, P. Manufaktur Ceper Batur, K. Ceper, and K. Klaten, "APLIKASI 3D PRINTER FUSED DEPOSITE MATERIAL (FDM) PADA PEMBUATAN POLA COR." [Online]. Available: http://jurnal.umj.ac.id/index.php/sintek

[4] K. Dvorak, L. Zarybnicka, and J. Dvorakova, "Quality Parameters of 3D Print Products by the DMLS Method," *Manufacturing Technology*, vol. 19, no. 2, pp. 209–215, Apr. 2019, doi: 10.21062/ujep/271.2019/a/1213-2489/MT/19/2/209.

[5] S. R. Gaikwad, N. H. Pawar, and S. U. Sapkal, "Comparative evaluation of 3D printed components for deviations in dimensional and geometrical features," *Mater Today Proc*, vol. 59, pp. 297–304, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2021.11.157.

[6] R. Davydov, N. Polyakov, D. Korenchenkova, S. Chulkin, V. Rud', and V. Krasnoscshekov, "Testing the methodology for evaluating the accuracy of the 3d printing," *J Phys Conf Ser*, vol. 1942, no. 1, p. 012057, Jun. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1942/1/012057.

[7] J. R. Chen *et al.*, "Quality assurance and printing accuracy analysis of 3D printing in medical applications," in *Medical Imaging 2022: Imaging Informatics for Healthcare, Research, and Applications*, B. J. Park and T. M. Deserno, Eds., SPIE, Apr. 2022, p. 24. doi: 10.1117/12.2611263.

[8] B. S. Everitt, "Analysis of Repeated Measures Data," 2005, pp. 171–199. doi: 10.1007/1-84628-124-5_9.

[9] N. F. Hadi and N. K. Afandi, "Literature Review is A Part of Research," *Sultra Educational Journal*, vol. 1, no. 3, pp. 64–71, Dec. 2021, doi: 10.54297/seduj.v1i3.203.

[10] T. Hannanto Saputra, H. Agus Pamasaria, J. Teknik Mesin, F. Teknik, and U. Gadjah Mada Jl Grafika, "Seminar Nasional IENACO-2019."

[11] D. Croccolo, M. De Agostinis, G. Olmi, and N. Vincenzi, "A Practical Approach to Gear Design and Lubrication: A Review," *Lubricants*, vol. 8, no. 9, p. 84, Aug. 2020, doi: 10.3390/lubricants8090084.

[12] C. Kirpes, D. Sly, and G. Hu, "Value of the 3D Product Model Use in Assembly Processes: Process Planning, Design, and Shop Floor Execution," *Applied System Innovation*, vol. 4, no. 2, p. 39, Jun. 2021, doi: 10.3390/asi4020039.

[13] Retia Kartika Dewi, "Rumus Mean Data Kelompok beserta Contoh Soalnya ," Kompas.com. Accessed: Feb. 28, 2025. [Online]. Available: https://www.kompas.com/skola/read/2024/07/06/160854669/rumus-mean-data-kelompok-beserta-contoh-soalnya