

PROSES ADAPTIVE MANUFACTURING MEKANISME PIPETTING SYSTEM PADA ALAT LIQUID HANDLING SYSTEM (LHS)

Muhammad Kanz Casillas¹, Ferly Isnomo Abdi^{2*}, Arya Mahendra Sakti³, Andita Nataria Fitri Ganda⁴

^{1,2,3,4}Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia 60231

E-mail: *ferlyabdi@unesa.ac.id

Abstrak: Saat ini, teknologi 3D printing telah muncul sebagai solusi yang potensial dalam dunia manufaktur. Teknologi ini memungkinkan pembuatan produk dengan mudah, cepat, dan mendetail. 3D printing menggunakan filamen sebagai bahan pengisi bentuk, dengan kekuatan tekan yang dipengaruhi oleh pola pengisian (infill pattern) yang digunakan. Penelitian menunjukkan bahwa pola 3D Honeycomb dapat memberikan kekuatan tekan yang besar namun membutuhkan lebih banyak material, sedangkan pola Cubic menawarkan keseimbangan optimal antara kekuatan tekan dan penggunaan material. Sehingga mampu menganalisis pengaruh variasi filling filamen pada mekanisme rack and pinion. Penelitian ini menggunakan metode research and development (RnD) meliputi: literature review, proses adaptive manufacturing, dan analisis data. Pengujian dilakukan dengan memvariasi jenis infill pattern honeycomb dan cubic. Dengan posisi awal pencetakan vertical dan horizontal. Hasil rata-rata lama waktu pencetakan, Posisi pencetakan vertikal membutuhkan waktu lebih lama dibandingkan dengan posisi horizontal, baik pada pola honeycomb maupun cubic. Pada posisi vertikal, pola honeycomb memiliki waktu rata-rata pencetakan tertinggi yaitu 354,68 menit, sementara pola cubic sedikit lebih cepat dengan waktu rata-rata 332,16 menit. Di posisi horizontal, waktu pencetakan lebih singkat, dengan pola honeycomb rata-rata 187,97 menit dan pola cubic 206,58 menit. Dengan demikian, posisi horizontal secara keseluruhan lebih efisien dalam mengurangi waktu pencetakan dibandingkan posisi vertikal, dan pola honeycomb sedikit lebih cepat dibandingkan cubic dalam kedua posisi tersebut.

Kata kunci: 3D Printing, Liquid Handling System, rack and pinion.

Abstract: Nowadays, 3D printing technology has emerged as a promising solution in manufacturing. This technology makes it possible to create products easily, quickly and in detail. 3D printing utilizes filament as a material for forming shapes, with its compressive strength influenced by the infill pattern used. Research indicates that the Honeycomb infill pattern provides excellent compressive strength but requires more material, whereas the Cubic pattern achieves an optimal balance between compressive strength and material usage. This study aims to analyze the effects of filament filling variations on the rack and pinion mechanism. The research adopts the Research and Development (R&D) method, which includes a literature review, adaptive manufacturing processes, and data analysis. Tests were conducted by varying the types of infill patterns (Honeycomb and Cubic), with initial positions set for vertical and horizontal printing. The results show that the average printing time for the vertical position is longer than for the horizontal position, regardless of whether the honeycomb or cubic pattern is used. In the vertical position, the honeycomb pattern recorded the longest average molding time at 354.68 minutes, while the cubic pattern was slightly faster, averaging 332.16 minutes. In the horizontal position, the molding time was significantly shorter, with the honeycomb pattern averaging 187.97 minutes and the cubic pattern 206.58 minutes. Therefore, the horizontal position is overall more efficient in reducing molding time compared to the vertical position, and the honeycomb pattern is slightly faster than the cubic pattern in both orientations.

Keywords: 3D Printing, Liquid Handling System, rack and pinion e.

© 2024, JRM (Jurnal Rekayasa Mesin) dipublikasikan oleh ejournal Teknik Mesin Fakultas Vokasi UNESA.

PENDAHULUAN

Salah satu teknologi yang sedang berkembang pesat saat ini adalah teknologi 3D printing, di mana mesin untuk pembuatan produk memungkinkan proses produksi dilakukan dengan mudah, cepat, dan presisi (Putra & Sari, 2018). Teknologi 3D printing memiliki potensi besar dalam industri manufaktur modern, salah

satunya adalah menghasilkan produk siap pakai seperti gelas, cangkir, dan mangkuk (Suzen et al., 2020).

Teknologi 3D printing banyak dimanfaatkan untuk membuat prototipe yang sesuai dengan desain yang diinginkan, termasuk dengan metode FDM (Fused Deposition Modeling) (Aji et al., 2023). Dalam proses 3D printing, bahan utama yang digunakan merupakan filamen, yang berfungsi sebagai material

pengisi atau infill. Pola pengisian bagian dalam produk (infill pattern) sangat memengaruhi kekuatan tekan hasil cetakan. Infill pattern ini adalah susunan pengisian pada bagian dalam objek yang dihasilkan menggunakan teknologi 3D printing (Wijayanto dkk., 2022).

Liquid Handling System umumnya masih menggunakan sistem hidrolik dalam mekanismenya. Penelitian mengenai perancangan aktuator hidrolik dengan mekanisme rack and pinion pada prototipe sistem penanganan cairan diperlukan untuk mempermudah pekerjaan manusia dalam melakukan proses pengujian di laboratorium (Rizqullah dkk., 2023). Mekanisme rack and pinion sesuai untuk diaplikasikan pada sistem mekanisme alat liquid handling system karena dapat menghasilkan gerakan yang kompleks dan berguna dalam berbagai aplikasi termasuk sistem penanganan cairan (Abdi dkk., 2023). LHS masih tergolong mahal dan rumit sehingga perlu dilakukan modifikasi adaptive manufacturing (3D Printing) untuk menciptakan alat yang lebih sederhana, murah dan mudah dioperasikan (Shadiq, 2023).

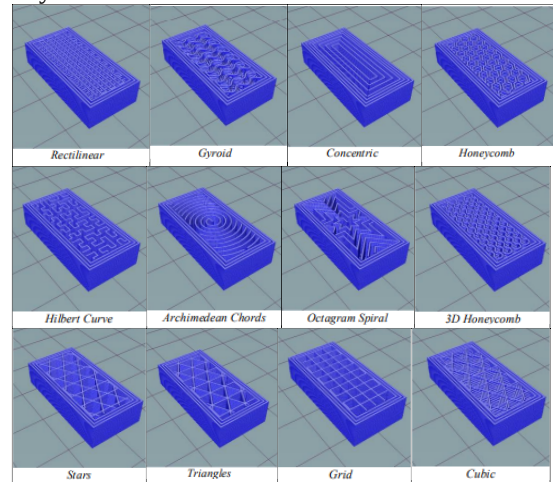
penelitian ini memberikan solusi pada sistem pipetting menggunakan mesin 3D Printing. Dengan adanya penelitian proses adaptive manufacturing mekanisme sistem pipetting pada alat Liquid handling system sehingga harga yang ditawarkan lebih terjangkau di masyarakat. Sistem mekanisme LHS menggunakan rack and pinion sebagai pengganti sistem mekanisme aktuator hidrolik yang sudah ada. proses manufaktur rack and pinion menggunakan variasi fillamen pada 3d printing untuk mengetahui pengaruh hasil cetakan 3D printing.

DASAR TEORI

A. Adaptive Manufacturing

Ukuran Adaptive Manufacturing merupakan suatu proses manufaktur yang menggunakan layer by layer (Syafaat dkk., 2022). Adaptive manufacturing merupakan inovasi terbaru pada industri manufaktur yang menggunakan teknologi pencetakan 3D atau yang lebih dikenal sebagai 3D printing. Desain digital yang telah dirancang dapat diubah menjadi objek fisik dengan ukuran dan bentuk yang sesuai dengan desain asli atau disesuaikan dengan skala tertentu. Teknologi ini memungkinkan pembuatan berbagai macam desain dan menghasilkan produk yang tidak dapat dihasilkan menggunakan metode manufaktur tradisional. (Ngo dkk., 2018). Salah satu bentuk 3D Printing yang paling banyak digunakan adalah FDM, di mana filamen dilebur dan disimpan lapis demi lapis (infill) untuk merekonstruksi objek 3D dari file digital (Shafranek dkk., 2019). Terdapat 12 jenis infill pattern 3D printing berdasarkan pola pengisian pada bagian dalam produk yang dicetak. Adapun 12 jenis infill pada 3D Printing yaitu Hilbert Curve, Gyroid, Archimedean Chords, 3D Honeycomb, Octagram Spirals, Rectilinear, Stars, Cubic, Triangle, Concentric, Grid, dan Honeycomb

(Wijayanto dkk., 2022). Namun, dalam penelitian ini akan di uji menggunakan 2 jenis infill pattern saja yaitu Honeycomb dan Cubic.



Gambar 1. Infill Pattern (Wijayanto dkk., 2022)

B. Mesin 3D Printing

3D printing adalah proses dimana benda padat 3D bentuk atau geometri apa pun dapat dibuat dari file digital. Penciptaan dicapai dengan peletakan turunan lapisan bahan tertentu secara berurutan hingga seluruh objek tercipta.



Gambar 2. Mesin 3D Printing (Pamasaria, 2020)

Masing-masing lapisan ini mewakili penampang horizontal yang diiris tipis (mirip dengan keluaran printer biasa, ini itulah mengapa disebut pencetakan) dari objek akhirnya, berbeda dengan subtraktif tradisional metode manufaktur yang mengandalkan penghilangan material untuk menciptakan sesuatu. Terdapat beragam teknologi pencetakan untuk membuat objek fisik dari digital desain. Perbedaan utama antara proses-proses ini terletak pada cara lapisan yang diendapkan untuk dibuat bagian dan bahan yang digunakan. Beberapa metode melelehkan atau melunakkan bahan untuk menghasilkan lapisan, sementara yang lain mengolah bahan cair menggunakan teknologi canggih yang berbeda. Setiap metode memiliki caranya masing-masing kelebihan dan kekurangan tersendiri. Berikut adalah beberapa teknologi umum (Shafranek dkk., 2019).

1. Stereo lithography (SLA)

posisi platform berlubang tepat di bawah permukaan tong polimer yang dapat disembuhkan dengan foto cair. Sinar laser UV (Ultra Violate)

kemudian menelusuri irisan pertama dari sebuah benda di permukaan cairan ini, menyebabkan lapisan fotopolimer yang sangat tipis mengeras. Itu platform berlubang kemudian diturunkan sedikit dan irisan lainnya dijiplak dan dikeraskan oleh laser. Irisan lainnya kemudian dibuat, dan kemudian irisan lainnya, hingga objek lengkap terbentuk dicetak dan dapat dikeluarkan dari tong fotopolimer, dikeringkan dari kelebihan cairan, dan diawetkan.

2. Fused deposition modelling (FDM)

Termoplastik panas diekstrusi dari Kepala cetak yang dikontrol suhu untuk menghasilkan objek yang cukup kuat hingga tingkat tinggi ketepatan.

3. Selective laser sintering (SLS)

Ini membangun objek dengan menggunakan laser untuk digunakan bersama secara selektif lapisan berturut-turut koktail dari bubuk lilin, keramik, logam, nilon atau salah satu dari beragamnya bahan lainnya.

4. Multi-jet modelling (MJM)

Ini sekali lagi membangun objek dari lapisan bubuk yang berurutan, dengan kepala cetak seperti inkjet yang digunakan untuk menyemprotkan larutan pengikat yang hanya merekatkan bagian yang diperlukan butiran bersama-sama.

C. Filamen 3D Printing

Filamen pada printer 3D merupakan bahan yang digunakan untuk mencetak objek berdasarkan desain yang dirancang menggunakan perangkat lunak komputer. Diameter filamen umumnya digunakan sesuai standar adalah 1,75 mm, namun beberapa jenis printer 3D rakitan memanfaatkan filamen berdiameter 3 mm. Berbagai jenis material dapat digunakan untuk membuat filamen, dan bahan utama yang digunakan merupakan thermoplastic. Material ini dikenal karena sifatnya yang tangguh, kuat, serta mudah dibentuk, yang menjadi faktor utama dalam menentukan kualitas filamen. Semakin kuat dan presisi hasil cetakan yang dihasilkan dari filamen, semakin tinggi pula kualitas filamen tersebut. Saat ini, filamen yang banyak tersedia di pasaran umumnya terbuat dari PLA (Polylactic Acid) dan PETG (Polietilen Tereftalat Glikol) (Haqira, 2019).

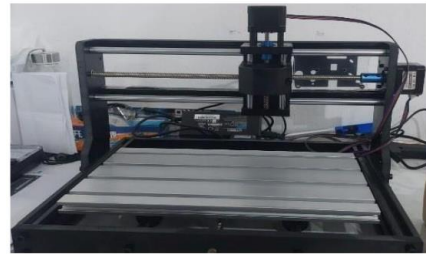


Gambar 3. Filamen (Wibisono, 2019)

D. Liquid Handling System

Liquid Handling Sytem (LHS) merupakan bagian penting dari segala eksperimen yang berhubungan

dengan sains kehidupan, khususnya pada proses pemipetan dibidang Kesehatan. Pada penelitian genomik biasanya membutuhkan proses pemipetan cairan untuk menambahkan suatu cairan dengan cairan lainnya (Kong dkk., 2012). Liquid Handling System adalah alat yang terdiri dari rangkaian linear guided actuator (LGA) yang dapat bergerak pada tiga sumbu atau axis, yaitu Sumbu X, Sumbu Y, dan Sumbu Z. Komponen untuk pemipetan biasanya digabungkan dengan LHS dengan dimensi dari rangkaian LHS ini menyesuaikan dengan posisi dan banyaknya komponen medis yang digunakan seperti rak tabung, microtiter plate, rak pipet, serta komponen lainnya yang dibutuhkan.



Gambar 4. Liquid Handling Sytem (Abdi dkk., 2023)

E. Motor Servo MG996R

Motor servo merupakan perangkat aktuator berputar yang dilengkapi sistem kontrol umpan balik loop tertutup, sehingga dapat diatur untuk menentukan dan memastikan posisi sudut poros outputnya. Motor servo terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu motor DC, rangkaian gear, rangkaian kontrol, dan potensiometer. Gear yang terhubung pada poros motor DC berfungsi untuk memperlambat kecepatan putaran poros sekaligus meningkatkan torsi motor servo. Sementara itu, potensiometer dengan resistansi yang berubah pada saat motor berputar berperan dalam menentukan batas posisi putaran poros motor servo (Muhamad, 2016).

Tabel 1. Spesifikasi motor servo MG996

Spesifikasi	Keterangan
Putaran	9.4kg/cm(4.8v) 11kg/cm(6.0v)
Kecepatan	0.19sec/60degree(4.8v) 0.15sec/60degree(6.0v)
Dimensi	Panjang: 40.7mm Lebar: 19.7mm Tinggi: 42.9mm
Berat	55g
Jenis Roda	Metal

(Ovianto, 2021)

1. Perhitungan Motor Servo

Sistem pipetting pada liquid handling system (LHS) menggunakan penggerak motor servo. Motor servo di hubungkan sistem transmisi rack and pinion yang

dipasang pada liquid handling system (LHS). Untuk mencari motor servo yang tepat maka diperlukan perhitungan sebagai berikut.

1. Mencari Nilai Torsi

Torsi dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$T = F \times r$$

(Khurmi & Gupta, 2005)

Dimana:

F = Gaya sentrifugal (N)

r = jarak (m)

2. Daya

Daya merupakan kecepatan untuk melakukan kerja pada sebuah mesin (Sularso & Suga, 2004). Daya sama dengan jumlah dari energi yang dihabiskan dalam satuan waktu. Daya dapat dihitung setelah mendapat hasil dari perhitungan torsi. Menghitung daya terbagi menjadi tiga langkah diantaranya.

a. Daya nominal

Daya nominal dirumuskan sebagai berikut.

$$P = (2\pi \times n \times T) / 60$$

(Khurmi & Gupta, 2005)

Dimana:

P = Daya (watt)

n = Kecepatan putar (rpm)

T = Torsi (Nm)

b. Daya rencana

Daya rencana dapat diperoleh melalui rumus sebagai berikut.

$$P_d = F_c P$$

(Sularso & Suga, 2004)(Sularso & Suga, 2004a)

Dimana:

P_d = Daya Rencana

F_c = Faktor koreksi

c. Daya terpasang

Daya rencana dapat dicari melalui rumus sebagai berikut.

$$P = P_d \frac{1}{\eta_{motor}} \times \frac{1}{\eta_{transmisi}}$$

(Sularso & Suga, 2004)

Dimana:

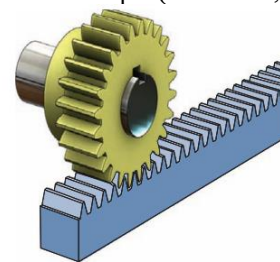
η = efisiensi

F. Rack and Pinion

Rack and Pinion merupakan salah satu perangkat mekanis yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk sistem kemudi mobil dan peralatan mesin. Pada mekanisme rack and pinion, rack merupakan batang yang mempunyai gigi pada salah satu sisinya, sedangkan pinion merupakan roda gigi kecil yang mempunyai gigi yang menyatu dengan gigi pada rack. Jika pinion berputar pada sumbu tetap, rack akan bergerak secara linier. Dapat digunakan untuk menghasilkan gerak lurus pada mobil atau peralatan

mesin, tergantung bagaimana alat tersebut dirancang dan dipasang, pada aplikasi peralatan mesin, rack dipasang pada meja kerja, sedangkan pinion dipasang pada poros yang diputar dengan engkol tangan.

Ketika poros diputar, pinion berputar dan menggerakkan rack, yang kemudian menggerakkan meja kerja. Hal ini memungkinkan operator memindahkan meja kerja dengan cepat dan mudah, yang merupakan hal penting dalam proses produksi yang memerlukan pergerakan meja yang akurat dan efisien. Mekanisme rack and pinion merupakan contoh yang baik bagaimana perangkat mekanis sederhana dapat digunakan untuk menghasilkan gerakan yang kompleks dan berguna dalam berbagai aplikasi termasuk sistem penanganan cairan. Sumber daya manusia dan peralatan membuat prosedur kerja pelayanan kesehatan menjadi lebih mudah. dan akan menjadi pilihan di masa depan (Abdi dkk., 2023)



Gambar 5. Rack and Pinion (Mott dkk., 2005)

1. Perhitungan Rack and Pinion

Sistem mekanis pada liquid handling system menggunakan mekanisme rack and pinion. Untuk menentukan mekanisme yang tepat maka diperlukan perhitungan sebagai berikut.

a. Mencari diameter pinion

$$D_p = \frac{N_p}{P_d}$$

(Mott dkk., 2005)

Keterangan:

D_p = Diameter pinion (mm)

N_p = Jumlah gigi pinion

P_d = Circular pitch (mm)

b. Modul Pinion

$$m = \frac{D_p}{N_p}$$

(Mott dkk., 2005)

Keterangan:

m = Modul

D_p = Diameter pinion (mm)

N_p = Jumlah gigi pinion

c. Kecepatan putar rack and pinion

$$V_{rack} = r\omega = \left(\frac{D_p}{2}\right)(n_p)$$

(Mott dkk., 2005)

Keterangan:

V_{rack} = Kecepatan rack (m/s)

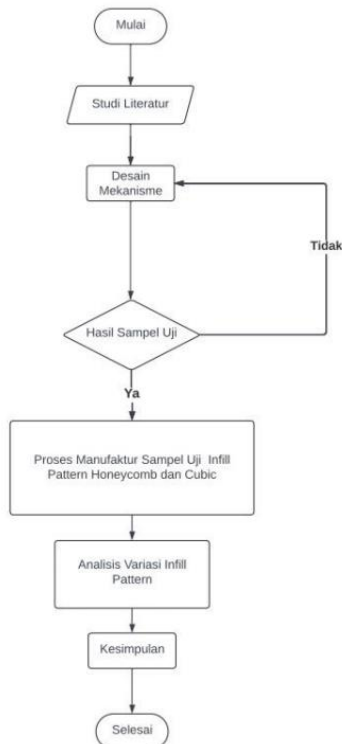
r = Jari-jari pinion (mm)

ω = Angular velocity

METODE

Pada penelitian ini menggunakan jenis penelitian Research and Development. Menurut (Sugiyono, 2013), Metode penelitian Research and Development merupakan penelitian yang menghasilkan produk tertentu untuk dilakukan perkembangan dan melakukan uji keefektifan produk tersebut. Berdasarkan pengertian tersebut metode penelitian Research and Development digunakan untuk menghasilkan produk baru dan juga menyempurnakan produk sesuai dengan kriteria dari produk yang dibuat sehingga mendapatkan produk yang sesuai, dengan melalui tahapan validasi dan pengujian. Penelitian diawali dengan pengumpulan data dari penelitian sebelumnya, dilanjutkan dengan perancangan pembuatan sistem mekanisme pada alat liquid handling system (LHS) dengan menggunakan rack and pinion sebagai penggerak..

Diagram alir dari metode penelitian dibuat agar semua alur penelitian terkonsep sesuai tahap-tahap dari penelitian, sehingga analisis dari suatu studi dapat diterangkan secara jelas dari alur penelitian. Oleh karena itu, diagram alir dapat diuraikan seperti Gambar 6.



Gambar 6. Diagram alir Penelitian

a. Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk mengumpulkan informasi sebanyak mungkin pada penelitian terdahulu yang berkaitan proses adaptive manufacturing mekanisme sistem pipetting pada alat Liquid handling system.

b. Desain Mekanisme

Desain mekanisme dilakukan setelah mendapat acuan yang spesifik dari sketsa dan perhitungan. Desain

mekanisme nantinya dibuat dengan ukuran yang sedetail mungkin dengan sistem mekanisme pipetting. Hal ini bertujuan untuk mempermudah proses manufaktur.

c. Proses Manufaktur

Proses Manufaktur dilakukan setelah mendapat desain rack and pinion dari desain mekanisme. Proses manufaktur dilakukan dengan menggunakan 2 jenis filamen yang berbeda. Proses manufaktur ini akan kami jelaskan secara runtut agar mudah dipahami oleh pembaca

d. Analisis Variasi Jenis Filamen

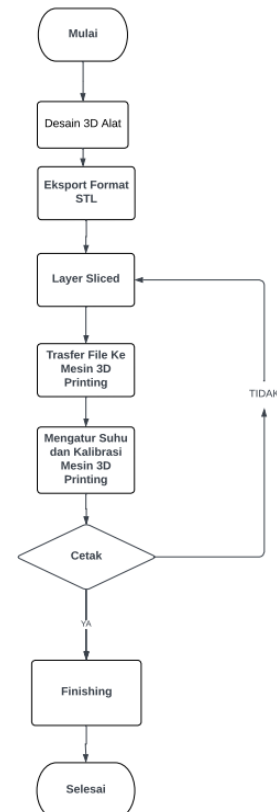
Data-data yang diperoleh dari proses manufaktur selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk proses analisis. Data dari analisis variasi jenis filamen dapat membantu memberikan pemahaman dari hasil yang telah diuji. Analisis data yang sudah dibuat, kemudian dilakukan penyusunan laporan sebagai pengarsipan hasil laporan penelitian.

e. Kesimpulan

Setelah sistem mekanisme yang dibuat telah jadi dan tidak ada lagi kesalahan, maka disusun kesimpulan dari penelitian tersebut berupa penyusunan laporan. Penyusunan laporan dilakukan berdasarkan sistematika yang sudah ada.

A. Diagram Alir Proses Manufaktur

Diagram alir proses manufaktur dibuat agar semua alur proses manufaktur terkonsep sesuai tahap-tahap dari penelitian, sehingga analisis dari proses manufaktur dapat diterangkan secara jelas dari alur proses manufaktur. Oleh karena itu, diagram alir dapat diuraikan seperti Gambar 7.



Gambar 7. Diagram Alir Proses Manufaktur

3.4.1 Desain 3D Alat

Desain 3D alat mengacu pada pembuatan model 3D rack and pinion. Tujuan utamanya adalah untuk memvisualisasikan secara detail bagaimana alat tersebut akan terlihat dan berfungsi sebelum diproduksi dalam bentuk fisik. Ini membantu dalam pengembangan produk, prototyping, dan memastikan bahwa alat yang dirancang dapat berkinerja optimal sesuai dengan kebutuhan dan spesifikasi yang diinginkan.

3.4.2 Eksport Format STL

Mengubah format pada software desain yang digunakan ke dalam format STL (format 3D Printing).

3.4.3 Layer Sliced

metode pencetakan di mana objek 3D dibuat dengan cara membangunnya dari lapisan-lapisan tipis secara bertahap. Proses ini dimulai dengan memecah model digital menjadi lapisan-lapisan horizontal (slices) yang kemudian dicetak satu per satu oleh 3D Printing. Setiap lapisan yang terbentuk menumpuk pada lapisan sebelumnya untuk membentuk objek akhir

3.4.4 Transfer File ke Mesin 3D Printing

File format STL yang sudah diatur layer sliced, kemudian di pindahkan menggunakan flashdisk / memory card ke dalam mesin 3D printing.

3.4.5 Mengatur Suhu dan Kalibrasi Mesin 3D Printing

Suhu pada 3D printing mempunyai beberapa factor penentu, yaitu suhu nozzle, suhu build plate, dan suhu ruangan. Sedangkan untuk kalibrasi beberapa faktor nya yaitu leveling plate, extruder Calibration, flow Rate calibration, dan PID tuning.

3.4.6 Finishing

Pembersihan bekas cetak 3D printing dari sisa filamen dan support material.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Perbandingan Berat Filamen yang Dibutuhkan

Penelitian ini sangat berbeda dengan prediksi yang ada di software UltiMaker Cura maupun PrusaSlicer. Estimasi mengenai durasi pencetakan dan jumlah filamen yang dibutuhkan kurang akurat ketika rack and pinion sudah selesai dicetak. Berikut hasil foto ketika rack and pinion yang sudah selesai dicetak akan ditimbang untuk mengetahui berat hasil produksi. Berikut hasil perbandingan antara prediksi berat yang ada di software UltiMaker Cura dan PrusaSlicer dengan berat ketika produk ditimbang menggunakan timbangan digital dapat dilihat pada table 2.

Tabel 2. Perbandingan Berat Filamen

Posisi	Jenis	Berat filamen (gram)	
		Software	Eksperimen
Vertical	Honeycomb	31	96
	Cubic	30	91
Horizontal	Honeycomb	23	74
	Cubic	25	74

Proses 3D printing melibatkan penempatan lapisan material secara berurutan, yang dapat menyebabkan adanya titik lemah di antara lapisan-lapisan tersebut. Hal ini berpotensi menambah berat total objek jika tidak dioptimalkan dengan baik. Selain itu, pengaturan parameter seperti kecepatan cetak dan suhu nozzle juga dapat mempengaruhi hasil akhir dalam hal kekuatan dan berat (Bari, 2021). Pengujian ini dilakukan guna untuk mengetahui cost filament yang dibutuhkan ketika kita ingin mencetak menggunakan alat 3D printing. Namun dapat dilihat pada tabel 2., prediksi yang ada pada software layersliced tidak bisa digunakan sebagai acuan jumlah filamen yang dibutuhkan ketika ingin mencetak sebuah objek.

Terlihat perbedaan antara berat filamen mencapai kurang lebih 30% dari prediksi yang ada pada software layer sliced. Sehingga posisi horizontal di kedua jenis infill pattern lebih baik dari pada posisi vertical. Karena pada posisi vertical terdapat support filamen dalam hasil cetakannya. Akan tetapi dari kedua penelitian ini terdapat perbedaan berat antara software dan eksperimen karena dalam laju pencetakan yang lebih lambat memungkinkan untuk filamen yang dicairkan akan lebih padat. Oleh karena itu, untuk mendekati hasil pada prediksi software dengan menambahkan laju kecepatan nozzle. Dari hasil eksperimen diatas, maka didapat persamaan berikut.

a. Mencari nilai Me

$$Mact = 3,2 \times Ms$$

Keterangan:

Me = Massa eksperimen

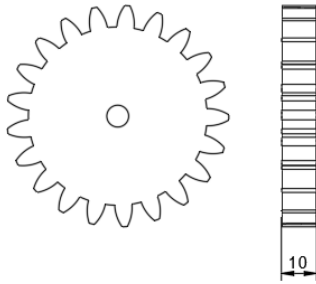
Mact = Massa Actual

Ms = Massa software

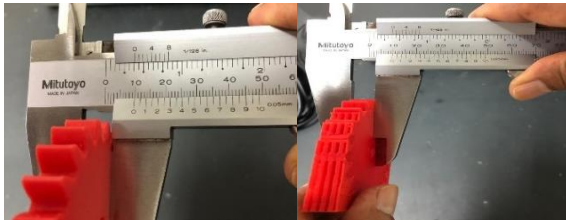
2. Hasil Pencetakan Rack and Pinion

Dalam proses pencetakan rack and pinion menggunakan 3D Printing, didapatkan hasil produk berupa rack and pinion dengan menggunakan infill pattern berjenis cubic dan honeycomb. Pencetakan dilakukan dengan dua metode, yaitu pencetakan vertikal dan horizontal. Dimensi rack and pinion sesuai dengan skala desain yaitu 1:1. Namun secara aktual dari hasil pencetakan, terdapat toleransi ukuran jika dibandingkan dengan desain. Dari hasil pencetakan rack and pinion didapatkan ukuran ketebalan yaitu

sebesar 9,9mm. Ukuran tersebut memiliki selisih 0,1mm dari rack and pinion yang sudah di desain pada software Fusion 360.



Gambar 7. Desain 2D Rack and Pinion



Gambar 8. Ketebalan eksperimen: I) Posisi Cetak Awal Horizontal, II) Posisi Cetak Awal Vertical



Gambar 9. Bentuk Pola Infill Pattern: I) Honeycomb, II) Cubic

3. Analisis Data Proses Adaptive Manufacturing

Analisis lama pencetakan rack and pinion ini memposisikan titik awal pencetakan horizontal dan vertical. Infill pattern yang digunakan pada spesimen uji ini yaitu honeycomb dan cubic. Analisis ini dilakukan tiga kali percobaan di setiap posisi awal pencetakan dan infill pattern nya. data yang didapatkan nantinya diubah menjadi sebuah grafik untuk di analisis. Pada penelitian ini digunakan lima parameter proses yang berpengaruh terhadap lama waktu pencetakan.

Tabel 3. Parameter faktor lama waktu pencetakan

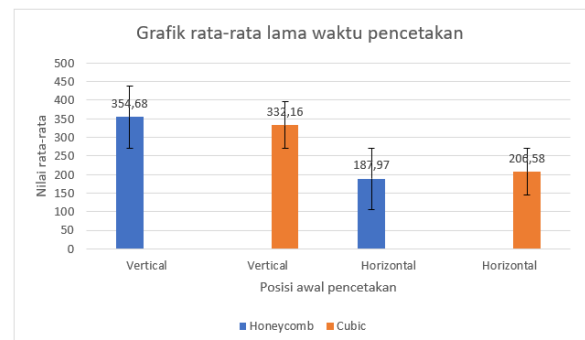
Parameter	Value
Kepadatan <i>infill</i>	20%
Ketebalan lapisan	0,1mm
Temperatur meja kerja	70°C
Temperatur <i>nozzle</i>	240 °C
Laju pencetakan	60mm/s

Berikut hasil analisis lama pencetakan *rack and pinion* dapat dilihat pada table 4.

Tabel 4. Hasil lama pencetakan rack and pinion

Posisi rack	Jenis Infill	Lama Pencetakan (menit)			Rata-rata (menit)
		Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3	
Vertical	Honeycomb	354,96	354,93	354,16	354,68
	Cubic	333,91	331,66	330,93	332,16
Horizontal	Honeycomb	188,78	187,61	187,53	187,97
	Cubic	211,6	204,26	203,88	206,58

Berdasarkan tabel 4.3 dapat di ilustrasikan seperti grafik berikut



Gambar 10. Grafik Rata-rata Lama Waktu Pencetakan

Dari hasil rata-rata lama waktu pencetakan grafik diatas, Posisi pencetakan vertikal membutuhkan waktu lebih lama dibandingkan dengan posisi horizontal, baik pada pola honeycomb maupun cubic. Pada posisi vertikal, pola honeycomb memiliki waktu rata-rata pencetakan tertinggi yaitu 354,68 menit, sementara pola cubic sedikit lebih cepat dengan waktu rata-rata 332,16 menit. Di posisi horizontal, waktu pencetakan lebih singkat, dengan pola honeycomb rata-rata 187,97 menit dan pola cubic 206,58 menit. Dengan demikian, posisi horizontal secara keseluruhan lebih efisien dalam mengurangi waktu pencetakan dibandingkan posisi vertikal, dan pola honeycomb sedikit lebih cepat dibandingkan cubic dalam kedua posisi tersebut. Jika dilihat pada pengujian horizontal pola honeycomb memiliki rongga lebih besar dari pada cubic, sehingga hal tersebut mempengaruhi waktu pencetakannya. Sedangkan pada pengujian vertikal pola cubic memiliki support filamen yang lebih sedikit dari pola honeycomb. Sehingga lama waktu dan berat eksperimen ada perbedaan dibandingkan pencetakan horizontal.

Pada penelitian ini saya menggunakan fill density 20% dengan diameter pinion 5,2 cm dan ketebalan 1cm, dengan hasil waktu percetakan sesuai dengan tabel. Dari empat pengujian yang sudah dilakukan, hasil membuktikan pencetakan dengan infill pattern honeycomb dan posisi awal pencetakan horizontal adalah yang tercepat dengan waktu rata-rata 187,97 menit dari tiga kali percobaan. Pada penelitian (Abid dkk, 2024), Ukuran prototipe mendekati ukuran desain yaitu ketebalan 1,5 cm dengan diameter roda gigi 4 cm. Pembuatan prototype gear dengan

parameter fill density 60% dan layer height 0,1 mm dengan posisi awal pencetakan horizontal menciptakan kekuatan lebih, sehingga tidak pecah. Hasil yang didapatkan sesuai kebutuhan konsumen yang membutuhkan model roda gigi untuk bahan analisis. Disisi lain dengan layer height 0,1 proses pencetakan membutuhkan waktu 228 menit.

SIMPULAN

Proses adaptive manufacturing mekanisme pipetting system menggunakan 3D printing FDM dimulai dengan desain CAD yang disimpan dalam format STL dan diolah di UltiMaker Cura untuk menghasilkan file G-Code. File ini dipindahkan ke printer melalui microSD/USB, diikuti pemanasan nozzle, kalibrasi leveling, dan pencetakan. Hasil cetak rack and pinion kemudian menjalani tahap finishing. Dari empat pengujian yang sudah dilakukan, hasil membuktikan pencetakan dengan infill pattern honeycomb dan posisi awal pencetakan horizontal adalah yang tercepat dengan waktu rata-rata 187,97 menit dari tiga kali percobaan. Sedangkan, hasil lama waktu pencetakan yang terlama adalah infill pattern honeycomb dan posisi awal pencetakan vertical dengan rata-rata 354,68 menit..

REFERENSI

- abdi, F. I., Sakti, A. M., Wulandari, D., Utama, F. Y., Puspitasari, D., & Manggalasari, L. C. (2023). The Development Of 3d Printing Modification Of Liquid Handling System Concept For Pipetting System Process In The Medical Area. *Logic Journal Multidisciplinary*, 1(3), 92–97.
- Abid, M. M., Saputra, W. S., & Shidik, A. B. A. (2024). Pembuatan Produk Prototype Roda Gigi Menggunakan 3d Printing. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 8(3), 1686–1694. <https://doi.org/10.33379/Gtech.V8i3.4461>
- Aji, B., Ariyani, Y. F., & Pristiansyah, P. (2023). Pengaruh Parameter Proses Terhadap Kekasaran Permukaan Menggunakan Filamen Petg (Polyethylene Terephthalate Glycol). *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, 1(2), 332–338. <https://doi.org/10.33504/Jitt.V1i2.32>
- Bari, M. H. (2021). *Optimasi Parameter Proses Pada 3d Printing Fdm Terhadap Kekuatan Tarik Filament Pla Food Grade Menggunakan Metode Taguchi L27 Optimization Of Process Parameters In Fdm 3d Printing Towards The Strength Of Filament Pla Food Grade Using Taguchi L27 Method Tu*.
- Erviyanto. (2023). *Analisis Pengaruh Variasi Suhu Dan Kecepatan Cetak Terhadap Kekuatan Tarik Dan Foto Makro Produk Hasil 3d Printing Berbahan Petg*. Universitas Tidar.
- Haqira, T. (2019). *Rancang Bangun Mesin Ekstruder Filamen 3d Printer*. Universitas Islam Indonesia.
- Khurmi, R. S., & Gupta, J. K. (2005). *A Textbook Of Machine Design (S1. Unit)*. Eurasia Publising House.
- Kong, F., Yuan, L., Zheng, Y. F., & Chen, W. (2012). Automatic Liquid Handling For Life Science: A Critical Review Of The Current State Of The Art. *Slas Technology*, 17(3), 169–185. <https://doi.org/10.1177/2211068211435302>
- Mott, R. L., Vavrek, E. M., & Wang, J. (2005). Machine Elements In Mechanical Design 6th Edition. In *Pearson Education, Inc*.
- Muhamad, A. K. (2016). *Aplikasi Accelerometer Pada Penstabil Monopod Menggunakan Motor Servo*. Politeknik Negeri Surabaya.
- Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Q, K. T., Nguyen, & Hui, D. (2018). Additive Manufacturing (3d Printing): A Review Of Materials, Methods, Applications And Challenges. *Jurnal Composite Part B: Engineering*.
- Ovianto, O. (2021). *Sistem Kendali Kualitas Suhu Air Kolam Ikan Berbasis Mikrokontroller Menggunakan Metode Clustering & Metode Fuzzy Logic* [Universitas Komputer Indonesia]. <http://elibrary.unikom.ac.id/id/eprint/5394>
- Pamasaria, H. A. (2020). Optimasi Keakuratan Dimensi Produk Cetak 3d. *Jurnal Material Dan Proses Manufaktur*, 19.
- Putra, K. S., & Sari, U. R. (2018). Pemanfaatan Teknologi 3d Printing Dalam Proses Desain Produk Gaya Hidup. *Seminar Nasional Sistem*

- Informasi Dan Teknologi Informasi* 2018, 1–6.
- Rizqullah, A. F. M., Abdi, F. I., Sakti, A. M., & Riandadari, D. (2023). Perancangan Aktuator Hidrolik Dengan Mekanisme Rack And Pinion Pada Prototipe Liquid Handling System. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 8(1), 63–68. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jurnal-rekayasa-mesin/article/view/54236>
- Shadiq, M. D. A. (2023). Rancang Bangun Prototype Liquid Handling System Untuk Sampel Pcr Modifikasi Cnc Plotter Dan Finger Robotic. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 8(1), 1–9. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jurnal-rekayasa-mesin/article/view/53114>
- Shafraneek, R. T., Millik, S. C., Smith, P. T., Lee, C.-U., Boydston, A. J., & Nelson, A. (2019). Stimuli-Responsive Materials In Additive Manufacturing. *Progress In Polymer Science*, 93, 36–67. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2019.03.002>
- Sugiyono. (2013). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif Dan R&D*. Alfabeta Cv.
- Sularso, I. R., & Suga, K. (2004a). *Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin*. Pt. Pradnya Paramita.
- Sularso, & Suga, K. (2004b). *Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin*. Pradya Paramita.
- Suzen, Z., Hasdiansah, H., & Yuliyanto, Y. (2020). Pengaruh Tipe Infill Dan Temperatur Nozzle Terhadap Kekuatan Tarik Produk 3d Printing Filamen Pla+ Esun. *Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*, 12, 73–80.
- Syafaat, I., Setyawan, P., & Mujiarto, I. (2022). Analisis Pengaruh Bentuk Infill Terhadap Kekuatan Tarik Pada Spesimen Astm D638-14 Material Polylatic Acid Produk Mesin Cetak 3d. *Jurnal Ilmiah Momentum*, 18(2), 28. <https://doi.org/10.36499/jim.v18i2.7273>
- Wibisono, A. G. (2019). *3d Printer Chocolate Berbasis Arduino*. Universitas Komputer Indonesia.
- Wijayanto, S. E. Y., Handoko, R., Noel, J. C., & Anggawirawan, T. W. (2022). Identifikasi Jenis Infill Pattern Pada Proses 3d Printing Yang Menghasilkan Hasil Cetak Dengan Kekuatan Tekan Dan Panjang Filamen Yang Optimal. *Rekayasa Mesin*, 13(2), 531–539.