

Perancangan Sistem Ekstruder untuk 3D Printer Cokelat

Abim Adhanis Shaleh Pambudhi, Setyawan Bakti Wibowo*, Widia Setiawan, Stephanus Danny
Departemen Teknologi Rekayasa Mesin, Fakultas Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada,
Jl. Yacarana Sekip Unit IV Yogyakarta 55281, Indonesia

*E-mail: Setyawanbw@ugm.ac.id

Diajukan: 10-11-2023; Direvisi: 21-08-2024; Dipublikasi: 31-08-2024

Abstrak

3D printer cokelat adalah salah satu perkembangan teknologi, dirancang untuk membantu manusia dalam membuat objek dengan menggunakan cokelat sebagai bahan dasar. 3D printer cokelat dapat menghasilkan berbagai macam objek kreatif sesuai dengan keinginan pengguna. Penelitian ini dimulai dengan merancang komponen ekstruder yang akan digunakan dalam proses ekstrusi cokelat pada 3D printer. Komponen yang digunakan dalam perancangan ini meliputi barrel dan nozzle, motor stepper nema 17, silicon heater 150 W 24 V, single screw, hopper, dan bracket. Proses desain disesuaikan dengan kebutuhan dan target dari penelitian ini. Uji coba akan dilakukan pada ekstruder dengan mencoba variasi pada print speed. Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa ekstruder dapat melakukan proses ekstrusi dengan efektif menggunakan komponen yang telah disebutkan. Pada suhu 40 derajat celsius dan print speed 100 mm/s lelehan cokelat dapat keluar secara konsisten.

Kata kunci: 3D printer cokelat; ekstruder; single screw

Abstract

The chocolate 3D printer is one such development, designed to assist humans in creating objects using chocolate as the base material. Chocolate 3D printers can produce a wide range of creative objects according to user preferences. This research project began with the design of the extruder components to be used in the chocolate extrusion process of the 3D printer. The components utilized in this design include the barrel and nozzle, Nema 17 stepper motor, 150 W 24 V silicon heater, single screw, hopper, and bracket. The design process was tailored to meet the specific requirements and objectives of this research. Experimentation will be conducted on the extruder by introducing variations in its printing speed. The research results indicate that the extruder can perform the extrusion process effectively using the mentioned components. At a temperature of 40 degrees Celsius and a print speed of 100 mm/s, the chocolate melt consistently flows out.

Keywords: 3D printer chocolate; extruder; single screw

1. Pendahuluan

Teknologi merupakan sebuah bagian penting bagi kehidupan manusia. Teknologi ada untuk membantu manusia dalam melaksanakan kegiatan sehari-hari. Perkembangan teknologi muncul akibat permasalahan yang dialami manusia ketika melakukan suatu kegiatan. Kreativitas membuat manusia menemukan penyelesaian dari permasalahan yang dialami dalam kehidupan sehari-hari, teknologi dibidang industri merupakan salah satu yang memiliki dampak perkembangan cukup pesat dalam membantu proses seperti desain, analisis, manufaktur, dan sebagainya. 3D printer merupakan salah satu contoh perkembangan teknologi yang berkembang cukup pesat.

3D printer adalah sebuah mesin pencetak tiga dimensi yang sebelumnya didesain melalui software, lalu data akan diproses dan diterjemahkan dengan titik-titik koordinat menjadi model tiga dimensi dengan pelapisan filamen atau bahan yang telah dicairkan sehingga terbentuk model tiga dimensi yang telah didesain [1]. 3D printer biasa digunakan untuk membuat pemodelan atau manufaktur produk yang berukuran kecil dengan resiko yang rendah, biaya yang murah, dan cepat [2]. Material bahan yang dihasilkan dari 3D printer juga beragam, terdapat bahan umum seperti polimer, keramik, dan komposit atau bahan khusus untuk makanan seperti cokelat. 3D printer untuk makanan dapat membuat sebuah bentuk makanan yang lebih unik dan kompleks dengan melelehkan bahan lalu ditempatkan berlapis pada titik koordinat yang

telah didata oleh komputer hingga membentuk tiga dimensi [3]. Pengembangan makanan terutama makanan pokok untuk makanan kustom dalam upaya kebutuhan kusus baik bentuk maupun isian nutrisi menjadi topik yang menjanjikan. Pemanfaatan Printer 3 dimensi dalam upaya mencetak makanan kustom sangat dimungkinkan. Penelitian 3D *printer* dibidang makanan khususnya coklat telah dilakukan beberapa kali di Indonesia untuk menemukan rancangan yang tepat dalam penerapan coklat sebagai material 3D *printing*. Hanya saja masih banyak kendala yang terjadi pada penerapan penggunaan mekanisme printer 3 dimensi dengan bahan makanan coklat. Permasalahan utama yang sering terjadi adalah pada sistem ekstrusi bahan.

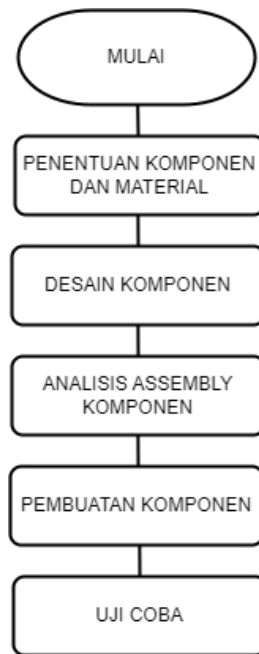
Penelitian pertama pada bagian *print head* dimodifikasi menjadi ekstruder dengan metode *screw* tujuannya supaya coklat dapat dilakukan pengisian secara terus menerus atau *continue* tanpa menjeda ketika proses *print* sedang berlangsung. 3D *printer* coklat ini menggunakan sistem pemanas jenis *heater band* 300 W dan memiliki sistem pendingin berupa kipas 5 V. Penelitian pertama menghasilkan lelehan coklat yang baik dengan menggunakan *screw* ekstruder. Namun, komponen – komponen pada mesin 3D *printer* coklat pertama masih terdapat beberapa kekurangan seperti penggunaan sistem pemanasnya dalam 3D *printer* coklat ini masih belum terintegrasi dengan baik sehingga pengoperasian pada pengaturan suhu 3D *printer* coklat ini masih terpisah atau tidak terkoneksi secara langsung dengan papan kendali 3D *printer* coklat dan *heat flux* yang terlalu besar menyebabkan *temperature* pada 3D *printer* coklat susah dikontrol. Selain itu, sistem pendingin pada 3D *printer* coklat yang pertama terkadang membuat bentuk lelehan coklat pada layer kedua dan seterusnya menjadi bergelombang [4].

Penelitian kedua mesin 3D *printer* coklat memiliki perbedaan pada komponen sistem pemanasnya. Sistem pemanas yang digunakan pada mesin 3D *printer* coklat yang kedua ini berjenis pemanas induksi yang diletakan pada bagian bawah sisi *barrel*. Mesin kedua tidak lagi menggunakan sistem pendingin karena kipas yang digunakan pada penelitian sebelumnya dapat mempengaruhi bentuk dari keluaran lelehan coklat. Sistem pemanas yang digunakan pada mesin kedua masih belum dapat terintegrasikan dengan baik karena komponen pendukung pada sistem pemanas yang digunakan tidak kompatibel untuk diintegrasikan dengan *controller board* pada 3D *printer* coklat. Temperatur pada 3D *printer* coklat dapat lebih dikontrol dibandingkan dengan mesin pada penelitian pertama. Namun, daya yang dibutuhkan pada pemanas induksi terlalu besar melebihi batas kemampuan pada *driver* sehingga terjadi korsleting dan terbakar pada bagian *controller board* [5]. Dari teknologi yang ada dan sudah dikembangkan tampak bahwa masih terdapat beberapa permasalahan dan perlunya perbaikan desain sistem ekstruder yang lebih baik dan efektif. Perbaikan sistem ekstruder untuk mendapatkan bentuk ekstruder yang lebih kompak, dengan pemanas yang terintegrasi dengan kendali mesin 3D *printer* sehingga mampu menghasilkan produk hasil cetak makanan menggunakan teknik 3D *printer* yang lebih akurat.

Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut maka penelitian ini akan merancang sistem ekstruder yang labih kompak dengan sistem kendali panas dan penekanan bahan extrusi yang terintegrasi. Penelitian ini dilakukan untuk memberikan penyelesaian pada permasalahan sebelumnya, membuat rancangan yang dapat terintegrasi dengan 3D *printer* dan mengeluarkan lelehan coklat yang konsisten. Terdapat tiga jenis *print head* yang biasa digunakan pada 3D *printer* untuk makanan yaitu *positive displacement*, *rotary screw extrusion*, dan *time pressure dispensing* [6-9]. *Rotary screw extrusion* merupakan metode yang sering digunakan untuk makanan pada 3D *printing* [10]. Selain itu, *rotary screw extrusion* tetap digunakan seperti pada penelitian sebelumnya karena coklat dapat terus diisi di dalam *barrel*.

2. Material dan metodologi

Metode yang dilakukan dalam melaksanakan penelitian ini terangkum dalam Gambar 1 diagram alir penelitian.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1 Metode Perancangan Komponen

Tahap ini dilakukan perancangan desain yang terdiri dari beberapa tahap, diantaranya yaitu desain, analisis, dan pembuatan komponen. Perancangan desain komponen dilakukan untuk mempermudah proses tahapan selanjutnya. Sebelum perancangan dilakukan perlu ditentukannya struktur komponen yang sesuai untuk penelitian ini dilakukan agar mempermudah proses kedepannya. Penentuan struktur komponen didasari untuk menyelesaikan permasalahan yang telah ditetapkan sebelumnya. Namun, secara umum komponen yang digunakan sebagai penyusun ekstruder diantaranya yaitu *screw*, *barrel*, *nozzle*, motor penggerak, sistem pemanas, *bracket* dan *hopper* [11]. Material yang digunakan dipilih sesuai dengan fungsi komponennya. Pemilihan material tidak boleh menghambat fungsi dari komponen yang akan digunakan. Untuk bagian *barrel*, *screw*, dan *nozzle* akan digunakan material dengan bahan yang dapat menghantarkan panas. Salah satu diantaranya bahan yang dapat menghantarkan panas dengan baik dan mudah dibentuk yaitu aluminium [12]. Pada proses desain *screw* perlu diketahui jenis dan dimensi *screw* sesuai dengan perhitungan yang dipakai. Perancangan *screw* dapat didasari dari ukuran *screw*, temperatur leleh pada keluaran leleh, dan jumlah keluaran [13]. Perancangan *screw* yang akan digunakan pada penelitian ini disesuaikan dengan dimensi *barrel* dan *nozzle* yang akan digunakan, oleh karena itu perancangan *screw* ini didasari oleh ukuran. Perancangan *screw* berdasarkan ukuran dapat ditentukan dengan menghitung dimensi diameter *screw*, *pitch screw*, dan *angle helix* [14-15]. Salah satu parameter yang akan mempengaruhi hasil adalah kecepatan gerakan terhadap kecepatan ekstrusi. Oleh karena itu penelitian ini akan memperhitungkan kecepatan berdasar penelitian sebelumnya oleh Mahardika, dkk. [16]. Hasil konfigurasi temperatur ekstrusi dari pemanas akan mempengaruhi konsistensi hasil [17]. Oleh karenanya pada penelitian ini kondisi ekstruder dibuat temperatur yang sestabil mungkin dengan pemanas yang mencukupi untuk kapasitas cokelat dalam *barrel*.

Persamaan (1) merupakan rumus perhitungan diameter *screw*.

$$D_s = D_b - \left(\frac{1}{100} \times D_b \right) \quad (1)$$

Persamaan (2) merupakan rumus perhitungan diameter dalam *pitch*.

$$L = \frac{2}{3} \times D_b \quad (2)$$

Persamaan (3) merupakan rumus perhitungan diameter dalam *angle helix*.

$$\theta_b = \arctan \times \frac{L}{\pi D_b} \quad (3)$$

Pada Persamaan (1) diameter *screw* diketahui sebagai D_s , sedangkan D_b didefinisikan sebagai diameter dalam *barrel*, *pitch* didefinisikan sebagai L , dan *angle helix* didefinisikan sebagai θ_b .

Analisis juga dilakukan untuk mengetahui distribusi panas pada ekstruder yang dibuat menggunakan *software ANSYS* untuk menganalisis perpindahan panas dari *barrel* ke cokelat dan mengetahui kondisi temperatur cokelat di dalam *barrel*. Terdapat beberapa tahapan yang dilakukan dalam proses analisis ini, diantaranya yaitu *setting geometri*, *meshing*, *setup*, dan simulasi. Hasilnya nanti hanya sebagai gambaran untuk mengetahui aliran dan distribusi yang terjadi di dalam ekstruder 3D *printer* cokelat. Selanjutnya, pembuatan komponen merupakan sebuah tahapan yang proses pembuatannya bergantung pada material dan fungsi komponen yang digunakan. Beberapa komponen akan dibuat menggunakan 3D *printer* berbahan filamen PLA+ karena dengan 3D *printer* waktu dan biaya pembuatan komponen akan lebih sedikit. 3D *printer* akan digunakan untuk membuat komponen seperti *hopper* dan *bracket* ekstruder. Pembuatan *screw* akan dilakukan dengan menggunakan teknik pengecoran aluminium dikarenakan bentuknya yang sulit dan membutuhkan banyak waktu dan biaya jika menggunakan teknik lainnya.

2.2 Metode Uji Coba

Proses ini dilakukan percobaan pada ekstruder yang telah dirancang. Uji coba ini dilakukan untuk mengetahui hasil dari penelitian dengan menunjukkan keluaran cokelat pada rancangan yang telah dibuat. Sebelum melakukan uji coba perlu ditentukan variabel terkontrol, variabel bebas, dan variabel terikat untuk memberikan batasan tertentu dengan lingkungan yang terkontrol.

Variabel terkontrol merupakan variabel yang nilainya dijaga konstan dan tidak diubah dalam penelitian. Variabel terkontrol pada penelitian ini yaitu diameter *nozzle* menggunakan 4 mm, kecepatan ekstruder 23 rpm dan temperatur yang digunakan pada sistem pemanas yaitu 40⁰ C. Variabel bebas merupakan variabel yang tidak dipengaruhi oleh variabel lain dan bebas ditentukan oleh peneliti. Variabel bebas pada penelitian ini yaitu menggunakan ekstruder yang telah dirancang dan membuat bentuk keluaran lelehan cokelat dengan gerakan berpola. Salah satu pola akan diuji dengan memberikan variasi kecepatan pada 3D *printer* sehingga dalam uji coba tersebut dapat dipilih hasil yang paling baik dan diterapkan ke dalam bentuk pola lainnya. Variabel terikat merupakan sebuah variabel yang nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas yang telah ditentukan sebelumnya. Variabel terikat pada penelitian ini yaitu konsistennya keluaran lelehan cokelat dari ekstruder.

3. Hasil dan pembahasan

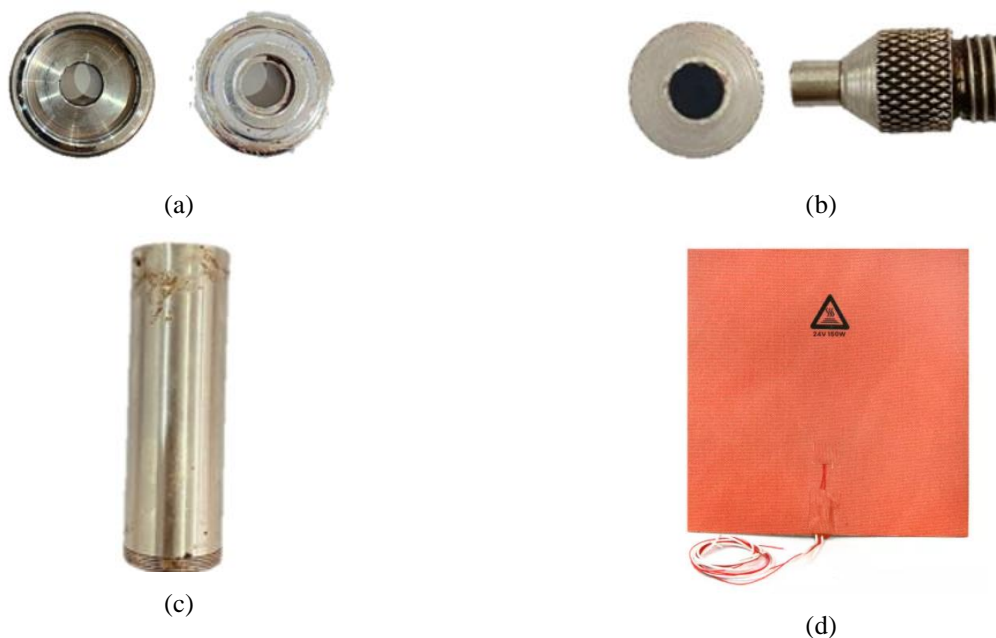
3.1 Perancangan Komponen

Bahasan di atas mengenai komponen yang akan digunakan pada ekstruder 3D *printer* cokelat dapat disimpulkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komponen ekstruder

| No. | | Jenis / Bahan |
|-----|-----------------|-----------------------|
| 1. | <i>Screw</i> | Aluminium |
| 2. | <i>Barrel</i> | Aluminium |
| 3. | <i>Nozzle</i> | Aluminium |
| 4. | Sistem pemanas | <i>Silicon heater</i> |
| 5. | <i>Bracket</i> | PLA+ |
| 6. | <i>Hopper</i> | PLA+ |
| 7. | Motor penggerak | <i>Nema 17</i> |

Barrel yang digunakan pada ekstruder ini memiliki diameter dalam 29,5 mm, diameter luar 32 mm, dan panjangnya 100 mm dengan *nozzle* berdiameter 4 mm. *Barrel* dan *nozzle* yang digunakan didasari oleh ketersediaan barang di pasar sehingga kesesuaian dimensi antara *nozzle* dan *barrel* sudah terjamin. Diantara *barrel* dan *nozzle* terdapat penghubung yang berfungsi untuk mempermudah proses *maintenance* ketika diperlukan pada *barrel* dan *nozzle*. Contoh penghubung antara *barrel* dan *nozzle*, *nozzle* dan *barrel* disajikan pada Gambar 2 (a), (b) dan (c).



Gambar 2. Barrel dan Nozzle : (a) Penghubung antara *barrel* dan *nozzle*, (b) *Nozzle*, (c) *Barrel* dan (d) *Silicon heater*

Heater yang digunakan yaitu *silicon heater* dengan ukuran 150 mm x 150 mm, 150 W, dan 24 V ditunjukkan pada Gambar 2 (d). *Silicon heater* yang digunakan dapat terintegrasi dengan *controller* pada 3D printer. *Silicon heater* ini berfungsi untuk menjaga *barrel* berada pada temperatur yang diinginkan. Pengaturan suhu yang akurat dibutuhkan untuk memastikan cokelat tidak mengalami pemanasan yang melebihi batas maksimal.

Pada perancangan *screw* material yang akan digunakan yaitu aluminium yang teknik pembuatannya akan dicor. Bentuknya yang kompleks membuat pengecoran merupakan alternatif yang bisa dilakukan. Untuk pengecoran yang akan dilakukan, diperlukan pola yang akan membuat rongga pada cetakan cor. Pola yang akan digunakan dibuat menggunakan 3D *printer* supaya bentuk dan ukurannya presisi sesuai dengan desain yang akan dibuat. Untuk membuat desain diperlukan penyelesaian rumusan yang sudah disebutkan sebelumnya untuk mengetahui dimensi pada *screw* yang akan digunakan. Menggunakan hasil perhitungan sesuai dengan Persamaan (1), (2) dan (3), maka didapatkan hasil pada perancangan *screw* seperti disajikan pada Tabel 2. Gambar 3 menunjukkan contoh *single screw* yang digunakan pada penelitian ini.

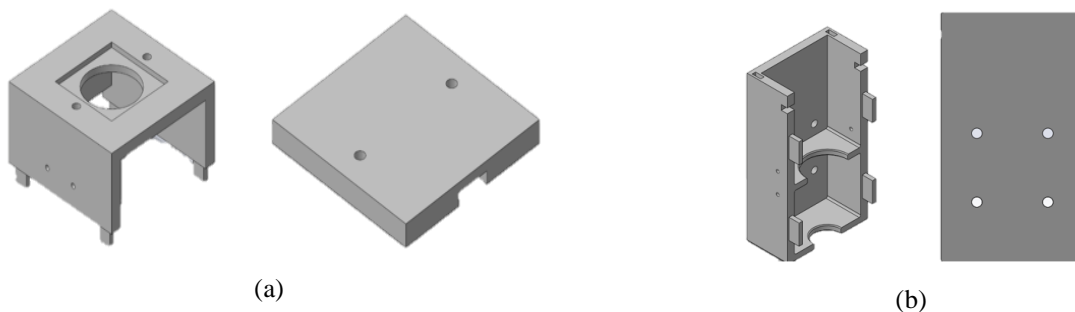
Tabel 2. Spesifikasi *screw*

| No. | | Dimensi |
|-----|-----------------------|------------|
| 1. | Diameter <i>screw</i> | 29,2 mm |
| 2. | <i>Pitch</i> | 19,6 mm |
| 3. | <i>Angle helix</i> | 12 derajat |



Gambar 3. *Single screw*

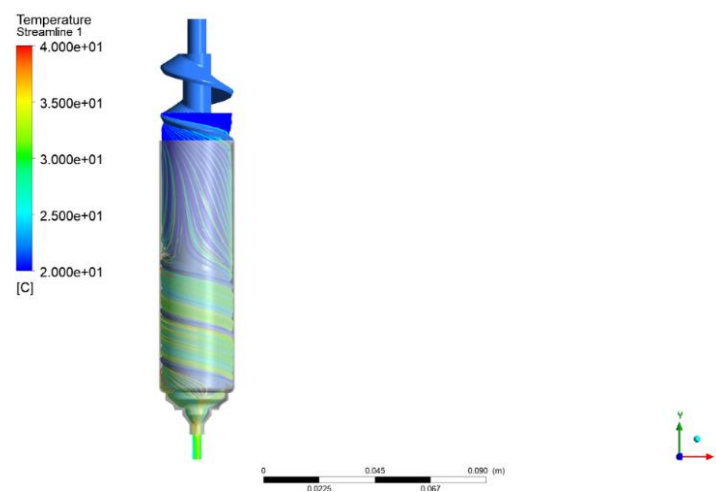
Bracket dan *hopper* yang digunakan berbahan PLA +, sehingga proses pembuatannya menggunakan 3D *printer* untuk menghemat waktu dan biaya. Dimensi pada *bracket* dan *hopper* disesuaikan dengan komponen lainnya seperti panjang *barrel*, *silicon heater*, dan *screw*. *Bracket* dan *hopper* juga harus memiliki lebar yang sesuai dengan diameter *barrel* untuk menghindari adanya celah pada *bracket* dan *hopper* sehingga tidak stabil posisinya. Ilustrasi desain *bracket*, *cover ekstruder* dan *hopper* dapat dilihat pada Gambar 4.





Gambar 4. Komponen *printing*: (a) *Bracket* motor, (b) dan (c) *Cover* ekstruder, dan (d) *Hopper*

Analisis mengenai hasil dalam proses distribusi panas pada ekstruder 3D printer coklat menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) analisis sistem *fluid flow* pada *Ansys* 2019. Pada analisis ini temperatur suhu yang distribusikan oleh sistem pemanas pada ekstruder secara konstan sebesar 40° C. Gambar 5 menunjukkan hasil analisis proses distribusi panas dengan CFD.

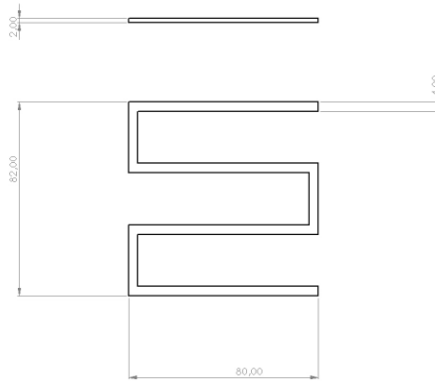


Gambar 5. Hasil analisis

Simulasi untuk distribusi panas pada ekstruder 3D *printer* coklat dengan iterasi berhenti diangka 60 dan konvergen. Gambar 5 terlihat bahwa pada ekstruder aliran coklat tidak sepenuhnya memiliki kondisi suhu yang sama, hal tersebut dapat disebabkan oleh posisi coklat yang tidak bersentuhan atau jauh dari *barrel*, semakin dekat dengan *barrel*, coklat akan menerima panas lebih cepat dibanding coklat yang jauh dari *barrel*. Pada bagian *conveying section* aliran didominasi warna biru tua dan biru muda dengan suhu berada diangka 20° C, dimana suhu awal coklat terdefinisi 20° C. Bagian *melting section* aliran mulai berwarna hijau namun terdapat warna biru yang berarti coklat mulai menyentuh 28° C. Lalu pada bagian *metering section* aliran coklat mulai didominasi warna hijau menunjukkan temperatur aliran coklat berada di angka 30° C keatas. Hasil simulasi yang dilakukan menunjukkan bahwa menggunakan sistem pemanas yang memanaskan *barrel* dengan temperatur yang konstan 40° C dapat menghasilkan output lelehan coklat yang baik. Pada titik akhir hasil analisis menunjukkan temperatur paling tinggi lelehan coklat berada diangka 34° C.

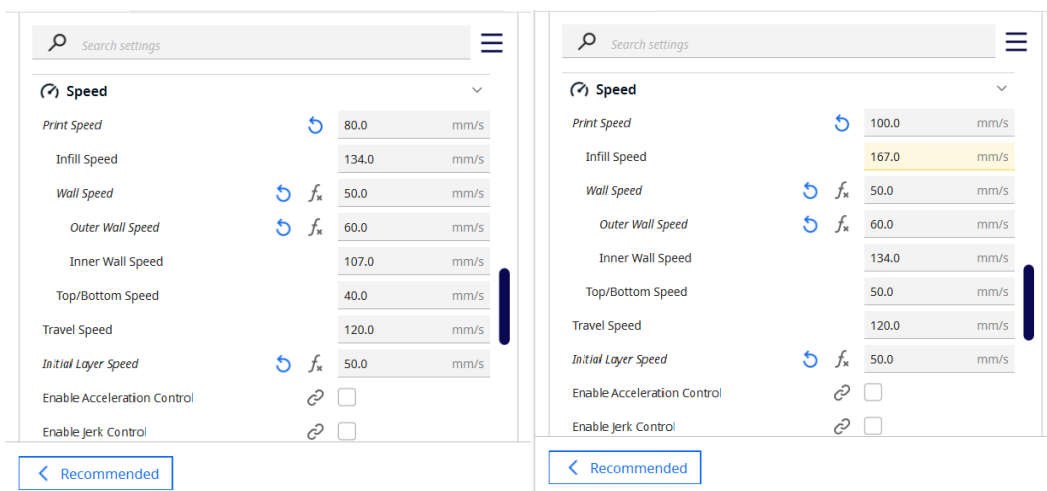
3.2 Uji coba

Pengujian yang dilakukan yaitu melakukan gerakan berpola dan variasi kecepatan pada sumbu 3D printer cokelat. Perbedaan kecepatan sumbu 3D printer dapat mempengaruhi keluaran lelehan cokelat sehingga dari uji coba yang dilakukan ditemukan rekomendasi *setting* 3D printer cokelat yang dapat menghasilkan lelehan cokelat yang konsisten pada rancangan 3D printer cokelat yang telah dilakukan. Uji coba dilakukan dengan membentuk pola 1 layer supaya konsistensi pada keluaran lelehan cokelat terlihat. Untuk menguatkan hasil uji coba dilakukan minimal sebanyak tiga kali setiap variasinya sehingga diketahui konsistensi keluaran lelehan cokelat dengan pola *print* yang seperti Gambar 6.



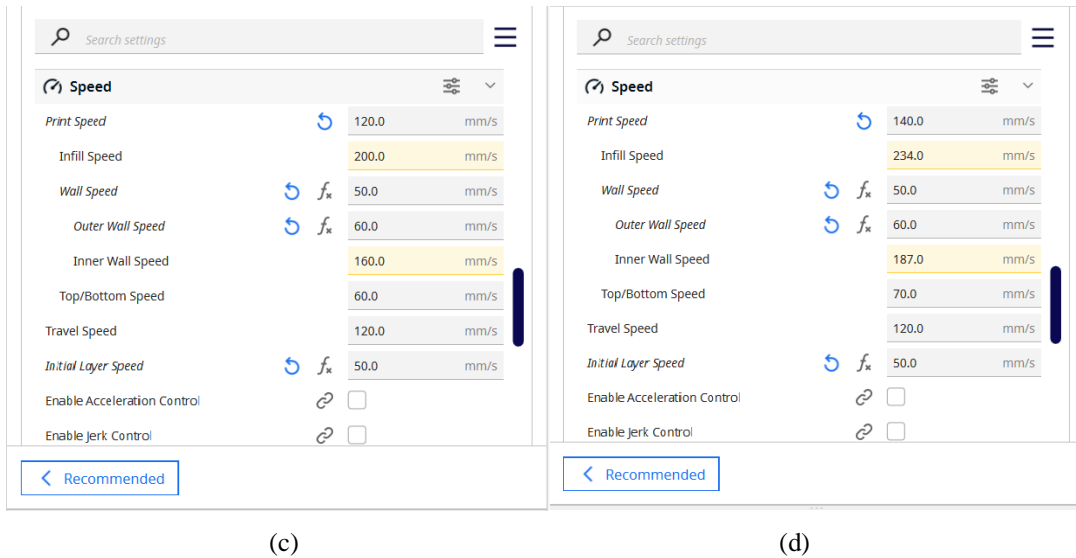
Gambar 6. Pola *print*

Variasi *print speed* yang akan diuji mulai dari variasi yang hasilnya tidak baik, ke variasi yang menunjukkan hasilnya baik, sampai hasil variasi uji coba yang tidak baik lagi. Uji coba yang akan dilakukan pada pengujian kecepatan sumbu 3D printer ini yaitu dengan melakukan setting pada *software Ultimaker Cura 5.4.0*. Memberikan variasi pada *print speed* sumbu 3D printer untuk mengetahui pengaruh kecepatan sumbu pada hasil akhir lelehan cokelat.



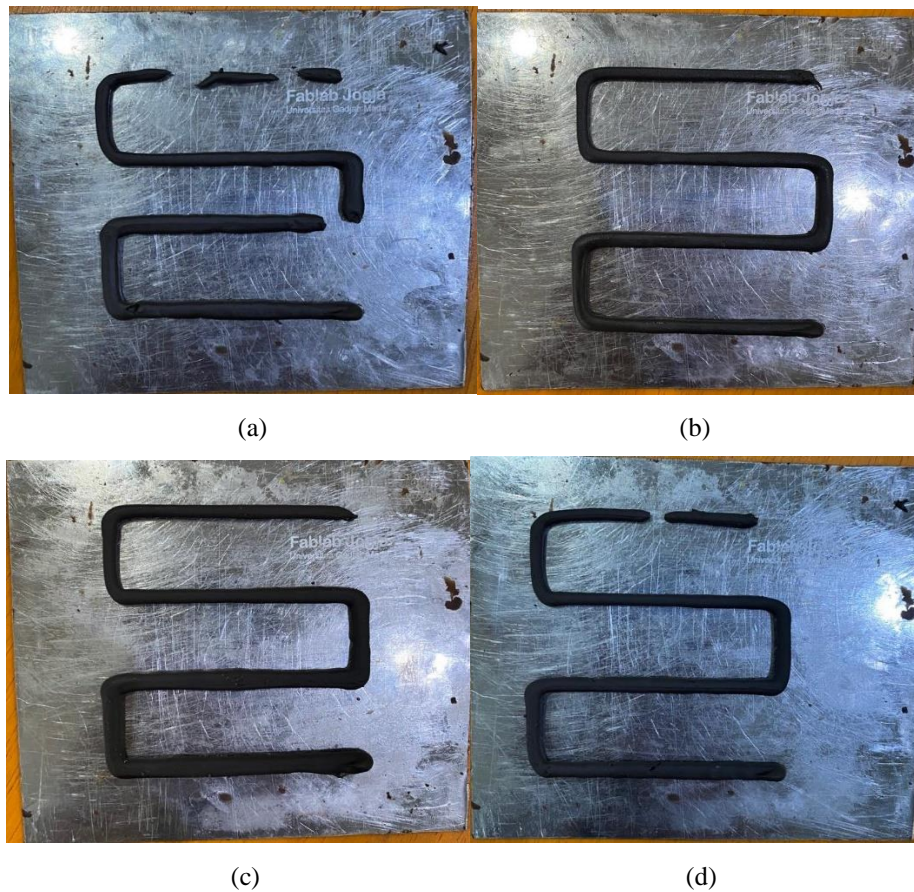
(a)

(b)



Gambar 7. Tampilan dan variasi *print speed*: (a) Variasi 1, (b) Variasi 2, (c) Variasi 3, dan (d) Variasi 4

Gambar 7 menunjukkan *setting print speed* yang dilakukan menggunakan *software ultimaker cura*, pada gambar 7 (a) menunjukkan angka pada *print speed* 80 mm/s, angka 80 mm/s pada *print speed* dapat diartikan bahwa kecepatan maksimal gerakan sumbu dapat mencapai 80 mm/s. Seterusnya begitu pada variasi 2, 3, dan 4. Gambar 8 merupakan hasil dari keluaran lelehan cokelat menggunakan *print speed* pada variasi 1, 2, 3, dan 4.



Gambar 8. Hasil uji coba

Secara visual hasil keluaran cokelat dengan variasi 1 yang ditunjukkan Gambar 8 (a) 3D *printer* belum konsisten keluaran cokelatnya karena masih ada bagian yang kosong atau terputus sehingga bentuknya tidak seperti pola yang telah didesain sebelumnya. Hal tersebut dapat disebabkan oleh kecepatan pada sumbu x dan y axisnya tidak sesuai dengan kecepatan putaran pada ekstruder dan kondisi cokelat sehingga bentuk cokelatnya terputus. Diukur menggunakan jangka sorong diketahui bahwa variasi 1 ini memiliki lebar lelehan cokelat paling besar yaitu 6 mm dan paling kecil yaitu 3,4 mm dengan tebal paling besar 4,4 mm dan tebal paling kecil 2,7 mm. Terlihat terdapat bagian yang besar dan kecil. Dibandingkan dengan dimensi yang telah didesain dapat dikatakan bahwa dimensi pada lelehan cokelat menggunakan variasi 1 masih kurang baik karena terdapat lelehan yang terputus dan ketidaksesuaian dimensinya yang cukup besar.

Selanjutnya Gambar 8 (b) menunjukkan secara visual terlihat bahwa keluaran lelehan cokelat pada variasi ke 2 sudah baik karena tidak terdapat bagian putus-putus atau kosong, lebar lapisan cokelat juga terlihat lebih stabil dibandingkan sebelumnya sehingga bentuknya sesuai dengan pola yang didesain. Hal tersebut menandakan bahwa kecepatan pada sumbu x, y, ekstruder, dan kondisi lelehan cokelat sesuai sehingga keluarannya lebih konsisten dibanding variasi 1. Jika diukur menggunakan jangka sorong dimensi lelehan cokelat memang masih tidak sesuai dengan dimensi pada pola yang telah didesain sebelumnya. Namun lebih dan kurangnya ukuran dimensi pada variasi 2 tidak sebesar pada variasi 1. Lebar pada lelehan cokelat dengan variasi 2 paling besar yaitu 4,8 mm dan paling kecil yaitu 3,8 mm dengan tebalnya paling besar 3,6 mm dan yang paling kecil 2,6 mm. Variasi ini mengalami perbedaan yang cukup besar dibanding variasi 1 karena pada variasi 2 tidak terdapat bagian yang terputus dan perbedaan ukuran lelehan cokelat dengan pola yang didesain tidak sejauh pada variasi 1.

Uji coba yang ketiga hasilnya ditunjukkan oleh Gambar 8 (c). Secara visual keluaran lelehan cokelat sudah konsisten, tidak ada bagian yang kosong atau terputus. Namun dilihat dari Gambar 8 (c) bahwa lebar pada keluaran lelehan cokelat kurang stabil, di bagian bawah terlihat jauh lebih besar dibanding dengan bagian atas. Hal tersebut dapat disebabkan oleh kecepatan pada ekstruder terlalu cepat dibandingkan dengan kecepatan sumbu x dan y nya sehingga keluaran cokelat dibagian tertentu keluar lebih banyak. Diukur menggunakan jangka sorong lebar paling besar pada keluaran cokelat variasi 3 yaitu 6,2 mm dan lebar paling kecil yaitu 3,8 mm. Sedangkan untuk tebalnya bagian paling besar yaitu 3,8 mm dan bagian paling kecilnya yaitu 3 mm. Jika dibanding dengan variasi 1 keluaran lelehan cokelat variasi 3 lebih baik karena tidak terdapat bagian yang terputus atau kosong namun ketidaksesuaian lebar keluaran lelehan cokelat pada variasi 3 merupakan keluaran yang memiliki lebar paling besar.

Uji coba terakhir ditunjukkan oleh Gambar 8 (d) dimana apabila dilihat dari visualnya keluaran lelehan cokelat pada variasi 4 ini dapat dikatakan kurang konsisten, terdapat bagian yang terputus atau kosong pada hasil keluaran lelehan cokelat sehingga bentuknya tidak sesuai dengan pola yang telah didesain sebelumnya. Hal tersebut dapat disebabkan kurang cepatnya putaran pada ekstruder sehingga kecepatan pergerakan pada sumbu x dan y tidak dapat diseimbangkan yang menyebabkan keluaran lelehan cokelat terputus. Jika diukur menggunakan jangka sorong keluaran lelehan cokelat tersebut memiliki lebar paling besar 4,9 mm dan paling kecil 3,9 mm sedangkan untuk tebalnya paling besar 3,8 mm dan paling kecil 3,2 mm. Jika dibandingkan dengan hasil sebelumnya, hasil pada variasi 4 memiliki angka minimal pada lebar dibanding dengan yang lainnya yaitu 3,9 mm untuk lebar minimal. Bagian ini menghasilkan keluaran yang tidak konsisten namun tidak separah variasi 1.

4. Kesimpulan

Hasil analisis dilakukan untuk menunjukkan distribusi panas yang terjadi di dalam ekstruder. Panas yang diberikan sebesar 40⁰ C dapat menghasilkan keluaran lelehan cokelat dengan temperatur paling tinggi 34⁰ C. Telah berhasil merancang sistem ekstruder untuk 3D *printer* cokelat dengan spesifikasi diameter dalam *barrel* 29,5 mm dan tinggi 100

mm, *screw* yang digunakan berjenis *single screw*, motor *stepper nema 17* sebagai penggeraknya, dan pemanasnya menggunakan *silicon heater* 150 W 24 V. Komponen ekstruder dapat melelehkan dan mendorong cokelat, selain itu bracket yang dirancang juga dapat menahan komponen penyusun ekstruder. Hasil rancangan berhasil membuat keluaran lelehan cokelat dapat keluar dengan konsisten dengan pengaturan temperatur pada sistem pemanas sebesar 40⁰ C dan print speed sebesar 100 mm/s.

Daftar Pustaka

- [1] Valkenaers, H., Vogeler, F., Ferraris, E., Voet, A., Kruth, J. P., Azcárate, S., Dimov, S. A Novel Approach to Additive Manufacturing: Screw Extrusion 3D-Printing. In Proceedings of the 10th international conference on multi-material micro manufacture. 2013 October; pp. 235-238.
- [2] Sam Daley. 3D printer. <https://builtin.com/3d-printing>. Sam Daley; 2022 (Diakses pada 29 Maret 2023)
- [3] Lanaro, M., Forrestal, D. P., Scheurer, S., Slinger, D. J., Liao, S., Powell, S. K., Woodruff, M. A. 3D Printing Complex Chocolate Objects: Platform Design, Optimization and Evaluation. Journal of Food Engineering. December 2017; 215: p. 13-22.
- [4] Reza, M. dan Setyawan, B.W. Pengaruh Movement Speed dan Kecepatan Putar Screw Extruder Terhadap Hasil Cetak Cokelat pada Mesin 3D Printing. Indonesia: Universitas Gadjah Mada; 2021.
- [5] Sinangling, G. H. dan Setyawan, B. W. Perancangan dan Pembuatan Mesin 3D Printer untuk Pencetakan Cokelat Dengan Metode Screw Extrusion Based Printing. Indonesia: Universitas Gadjah Mada; 2022.
- [6] Lee, J. M., Yeong, W. Y. A Preliminary Model of Time-Pressure Dispensing System for Bioprinting Based on Printing and Material Parameters: This Paper Reports A Method to Predict and Control the Width of Hydrogel Filament for Bioprinting Applications. Virtual and Physical Prototyping. January 2015; 10(1): p. 3-8.
- [7] Chen, X. B., Kai, J. Modeling of Positive-Displacement Fluid Dispensing Processes, *IEEE Trans. On Electronics Packaging Manufacturing*, vol. 27. 2004; pp. 157-163.
- [8] Chen, X. B., Shoenau, G., Zhang, W. J. Modeling of Time-Pressure Fluid Dispensing Processes. *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing*, 2000; 23(4), 300-305.
- [9] Ness, C.Q. dan Lewis, A.R.,. Adhesives/Epoxyes & Dispensing, *Surface Mount Technology (SMT)*. 1998 May; pp. 114-122.
- [10] Mantihal, S., Prakash, S., Godoi, F. C., Bhandari, B. Optimization of Chocolate 3D Printing by Correlating Thermal and Flow Properties with 3D Structure Modeling. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2017; 44: 21-29.
- [11] Muhamad A., R., Aneasari M., Selastia Y., Rancang Bangun Alat Screw Extruder Pembuatan *Medium Density Fiberboard* Berbasis Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Perekat High Density Polyethylene (HDPE) (Uji Kinerja Alat Ditinjau Dari Efisiensi Screw Extruder). Januari 2022. p 37-49
- [12] Simanjuntak D. Studi Pengaruh Kenaikan Temperatur Pada Sambungan Konduktor Aluminium Dengan Tembaga. Indonesia: Univeritas Indonesia. 2010.
- [13] Gaspar-Cunha, A., Covas, J. A., Costa, M. F. P., Costa, L. Optimization of single screw extrusion. 2018.
- [14] Hassan Eslami. Understanding Screw Design for Film Extrusion Process. <https://macroeng.com/understanding-screw-design-for-film-extrusion-process>. Hassan Eslami: 2015 (Diakses pada 5 April 2023).
- [15] Campbell, G., Spalding, M. Single-screw extrusion: introduction and troubleshooting. *Analysing and Troubleshooting Single Screw Extrusion*, 2013. 1-22.

- [16] Mahardika R, Musthofa, M., Nurdin R.A., Wibowo S.B., Effect of movement speed and flow capacity on the printed chocolate in 3D printing machine. AIP Conf. Proc. 6 November 2023; 2693 (1): 030017. <https://doi.org/10.1063/5.0118855>
- [17] Rando, P., Ramaioli, M., Food 3D printing: Effect of Heat Transfer on Print Stability of Chocolate. Journal of Food Engineering. 294. 110415. 10.1016/j.jfoodeng.2020.110415.