

RANCANG BANGUN DAN KARAKTERISASI FEEDING MECHANISM SILIKONE BERBASIS SYRINGE PUMP PADA 3D PRINTER

Axel Leonardo

Mahasiswa S1
Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya
Program Studi Teknik Mesin
axelleonardo8@gmail.com

Arka Dwinanda Soewono

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya
Program Studi Teknik Mesin
arka.soewono@atmajaya.ac.id

Marten Darmawan

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya
Program Studi Teknik Mesin
martendarmawan@atmajaya.ac.id

Additive Manufacturing as one of the methods used on a 3D Printer can be applied with silicone as its material by designing a feeding mechanism based on a syringe pump which considers its mass flow rate. The purpose of this experiment is to produce the design of a feeding mechanism and to know the correlation between stepper motor torque (T_{sm}) and CNC travel feed rate ($VCNC$) with mass flow rate. The geometry which will be reviewed is a line. Those parameters will be characterized by measuring the width of the line (x) on the desired nine measured points. The most stable mass flow rate on stepper motor torque is determined by the smallest difference between average line width, while the most stable mass flow rate on CNC travel feed rate is determined by the smallest deviation standard between each measured points. The characterization results show that the smallest stepper motor torque value has the smallest difference between the average line width, which is 1,92 mm; while the highest stepper motor torque value has the highest difference between average line width, which is 3,66 mm and the highest CNC travel feed rate has the smallest deviation standard, which is 0,91; while the smallest CNC travel feed rate has the highest deviation standard, which is 2,14. Both of the statements imply that a smaller amount of the stepper motor torque and a higher amount of CNC travel feed rate will induce a more stable mass flow rate, it also works the other way around.

Keywords: 3D Printer, Feeding Mechanism, Silicone.

1. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, perkembangan teknologi dalam bidang 3D printing mengalami peningkatan yang signifikan. Salah satu metode yang digunakan adalah *Additive Manufacturing* (AM), yaitu proses pembuatan objek 3D secara modern. Ciri khas AM adalah pembentukan lapisan demi lapisan hingga membentuk objek yang sesuai dengan desain [1].

Dalam AM, jenis material yang paling sering digunakan sebagai bahan baku pembuatan objek adalah *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) dan *Polylactic Acid* (PLA) [2,3]. Kedua material tersebut dapat membentuk objek dengan menggunakan metode *Fused Deposition Modeling* (FDM) [4,5], yaitu metode yang mengekstrusi filamen yang sebelumnya sudah dilelehkan terlebih dahulu [6]. Meskipun kedua material ini sering digunakan, tentunya tidak menutup kemungkinan jika menggunakan jenis material lainnya. Penggunaan berbagai jenis material, khususnya material lunak, akan menghasilkan objek dengan variasi karakteristik yang lebih luas. Salah satu material yang menjanjikan untuk digunakan sebagai bahan baku 3D printing ini adalah silikon. Silikon yang memiliki sifat elastis dapat digunakan baik sebagai pembentuk organ tubuh buatan ataupun sebagai material untuk membuat robot lunak (*soft robot*) dalam bidang robotika hingga sensor pada aplikasi *wearable electronics* [7-16].

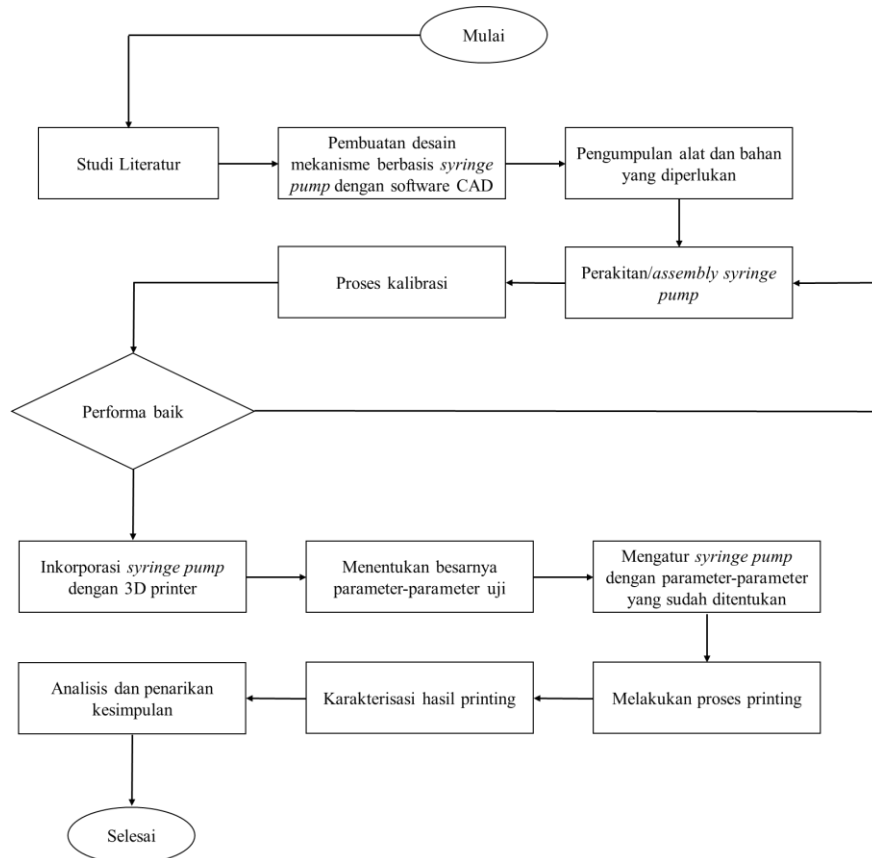
Penggunaan silikon sebagai bahan baku pembuatan objek tidak dapat dilakukan dengan metode FDM, karena metode ini hanya berlaku pada benda padat yang harus dilelehkan terlebih dahulu, sedangkan penggunaan silikon tidak memerlukan proses pelelehan. Maka dari itu, penggunaan silikon harus dilakukan dengan metode ekstrusi. Dalam penggunaan metode ini, perlu dirancang sebuah *feeding mechanism* berbasis

syringe pump.

Dalam rancang bangun *feeding mechanism* berbasis *syringe pump*, terdapat beberapa parameter uji yang perlu diperhatikan seperti, torsi *stepper motor* dan kecepatan gerak *Computer Numerical Control (CNC)*. Parameter-parameter tersebut harus dikarakterisasi agar 3D printer mampu melakukan proses printing silikone dengan kestabilan laju aliran massa yang baik. Oleh karena itu, pada penelitian ini dibuat perancangan sistem 3D printer dengan *feeding mechanism* berbasis *syringe pump* yang akan diuji pada silikone dengan memperhatikan parameter-parameter di atas.

2. METODE

Metode yang dilakukan dalam pembuatan *feeding mechanism* silikone berbasis *syringe pump* pada 3D printer adalah perancangan teknik. Tahapan rancang bangun dan karakterisasi *feeding mechanism* silikone berbasis *syringe pump* pada 3D printer dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1: Tahapan Rancang Bangun dan Karakterisasi *Feeding mechanism* Silikone Berbasis *Syringe pump* pada 3D Printer

Perancangan dilakukan melalui beberapa tahap untuk mengurangi potensi terjadinya kesalahan-kesalahan serta adanya panduan yang jelas untuk menciptakan rancangan akhir.

2.1 Perancangan Feeding system

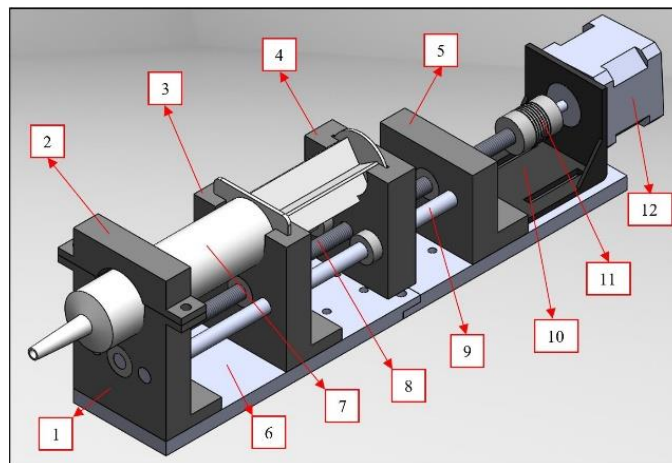
Pada perancangan mekanisme bagian pertama, tahap pertama yang harus dilakukan adalah menentukan mekanisme yang tepat untuk mendorong silikone keluar dari *syringe*. Mekanisme *syringe pump* terdiri dari beberapa komponen penting yaitu kedudukan ujung *syringe*, penahan *syringe*, dan pendorong *syringe*. Tahap selanjutnya adalah membuat desain *syringe pump*. Hal ini perlu dilakukan untuk memberi gambaran rancangan mekanisme secara keseluruhan serta menetapkan posisi komponen-komponen agar berada dalam posisi yang tepat dan dapat berfungsi dengan baik. Tahap selanjutnya adalah pengumpulan alat dan bahan yang diperlukan. Secara keseluruhan, bahan yang diperlukan hampir semuanya tersedia di pasaran, kecuali untuk beberapa komponen yang memerlukan bentuk secara *custom*. Komponen-komponen tersebut akan dibuat dengan menggunakan 3D printer dengan material ABS dan PLA. Setelah semua alat dan bahan yang diperlukan terkumpul, tahap selanjutnya adalah melakukan perakitan (*assembly*) seluruh komponen pada sebuah plat penyangga dan melakukan kalibrasi untuk mengoptimalkan performa dari *syringe pump*.

Untuk inkorporasi antara *syringe pump* dengan CNC dari 3D printer, tahap pertama yang harus dilakukan adalah menentukan sifat dan cara penyambungan. Penyambungan akan dilakukan secara tidak tetap (*non-permanent joint*) dengan sambungan baut agar dilepas pasang dengan bebas. Tahap selanjutnya adalah menentukan besarnya nilai parameter-parameter uji berdasarkan hasil *trial and error*. Nilai-nilai tersebut dapat dimasukkan melalui *software* yang berhubungan agar *syringe pump* dapat beroperasi sesuai dengan yang diinginkan. Untuk tahap terakhir, hal yang harus dilakukan adalah melakukan proses printing. Objek printing yang dihasilkan berupa *line* dengan panjang tertentu. *Line* tersebut harus dikarakterisasi untuk mengetahui tingkat kestabilan laju aliran massa.

Fungsi-fungsi yang harus ada pada perancangan mekanisme ini adalah:

1. Dudukan ujung *syringe* dapat menyangga bagian ujung *syringe* dan menjaga keseluruhan *syringe pump* agar berada dalam posisi yang konsentris.
2. Penahan *syringe* dapat menahan *syringe* agar tidak bergerak saat *syringe pump* beroperasi dan menjaga keseluruhan *syringe pump* agar berada dalam posisi yang konsentris.
3. Pendorong *syringe* dapat mendorong *syringe* maju dan mundur secara konsentris.
4. Sambungan baut dapat menghubungkan *syringe pump* dan CNC 3D printer.

Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan di atas, dilakukan perancangan desain *feeding mechanism* yang dapat mendorong material silikone berbasis *syringe pump* yang dapat dipasangkan pada 3D Printer. Desain sistem pendorong dapat dilihat pada Gambar 2.



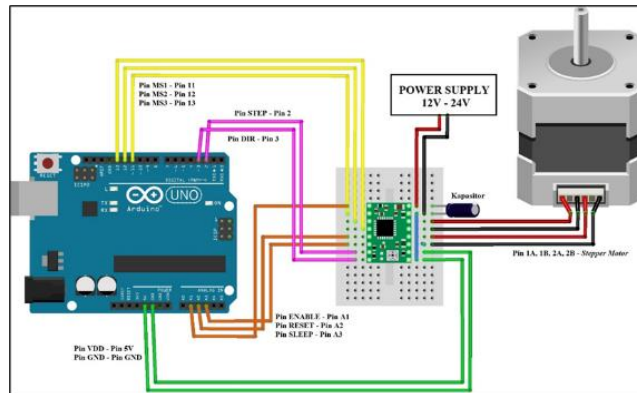
Gambar 2: Desain *Feeding mechanism* Silikone Berbasis *Syringe pump* pada 3D Printer

Keterangan:

- | | |
|---------------------------------|----------------------------------|
| 1. Dudukan ujung <i>syringe</i> | 2. Pengunci <i>syringe</i> |
| 3. Penahan <i>syringe</i> | 4. Pendorong <i>syringe</i> |
| 5. Dudukan <i>smooth rod</i> | 6. Plat penyangga |
| 7. <i>Syringe</i> | 8. <i>Thread rod</i> 8 mm |
| 9. <i>Smooth rod</i> 8 mm | 10. Dudukan <i>stepper motor</i> |
| 11. <i>Flexible coupler</i> 5x8 | 12. <i>Stepper motor</i> |

2.2 Perancangan *Feeding System*

Setelah proses perakitan *syringe pump* selesai, maka tahap selanjutnya adalah menghubungkan mekanisme *syringe pump* dengan sistem kontrol agar dapat mengatur beberapa fitur yang diperlukan seperti arah putaran (Ds), resolusi *step* (Rs), jumlah *step* (n), maupun besarnya torsi. Sistem kontrol *stepper motor* memerlukan dua komponen utama, yaitu *stepper motor driver* dan arduino. Sistem kontrol dapat dilihat pada Gambar 3.

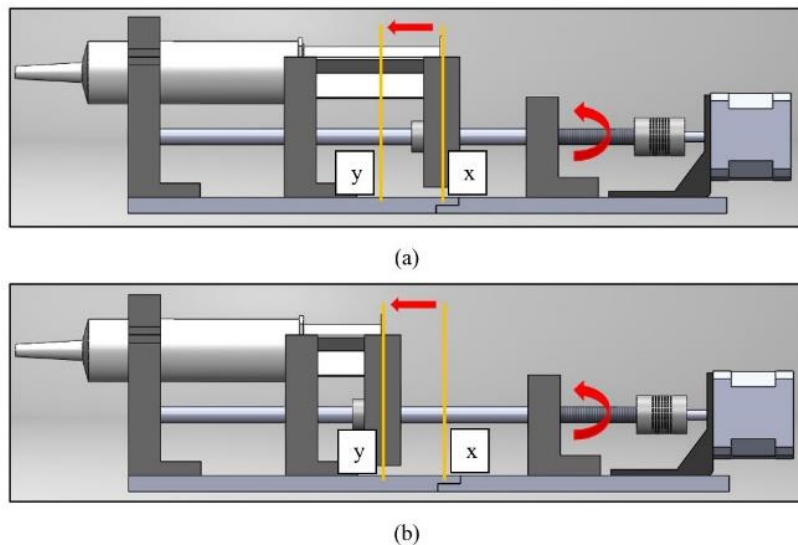


Gambar 3: Sistem kontrol *feeding mechanism*

2.2 Prinsip Kerja *Syringe pump*

Prinsip kerja dari *syringe pump* (Gambar 4) dapat dibagi menjadi beberapa langkah, yaitu:

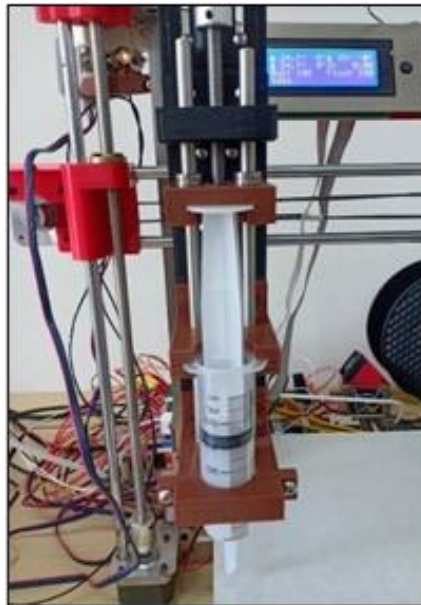
1. Torsi dihasilkan oleh *stepper motor* melalui poros.
2. Torsi diteruskan menuju *thread rod* 8 mm melalui *flexible coupler*.
3. Saat *thread rod* mengalami gerakan rotasi, ulir pada mur yang dibenamkan dalam komponen pendorong *syringe pump* akan menyebabkan gerakan translasi maju atau mundur berdasarkan arah putar rotasi *thread rod* (*clockwise* dan *counterclockwise*).
4. *Syringe* ditempatkan pada kedudukan ujung *syringe*, penahan *syringe* dan pendorong *syringe*. Bagian kedudukan ujung *syringe* dan penahan *syringe* bersifat stasioner karena menempel dengan plat penyangga, sedangkan pendorong *syringe* dapat bergerak karena tidak menempel.



Gambar 4: Prinsip Kerja *Syringe Pump* (a) Kondisi Awal, (b) Kondisi Akhir

2.3 Perwujudan *Feeding mechanism* Pada 3D Printer

Setelah tahap desain dan sistem kontrol selesai, maka dilakukan tahap *assembly* untuk memposisikan *syringe pump* pada sistem 3D printer akhir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5: *Feeding mechanism* pada 3D Printer

2.3 Parameter-Parameter Pengujian

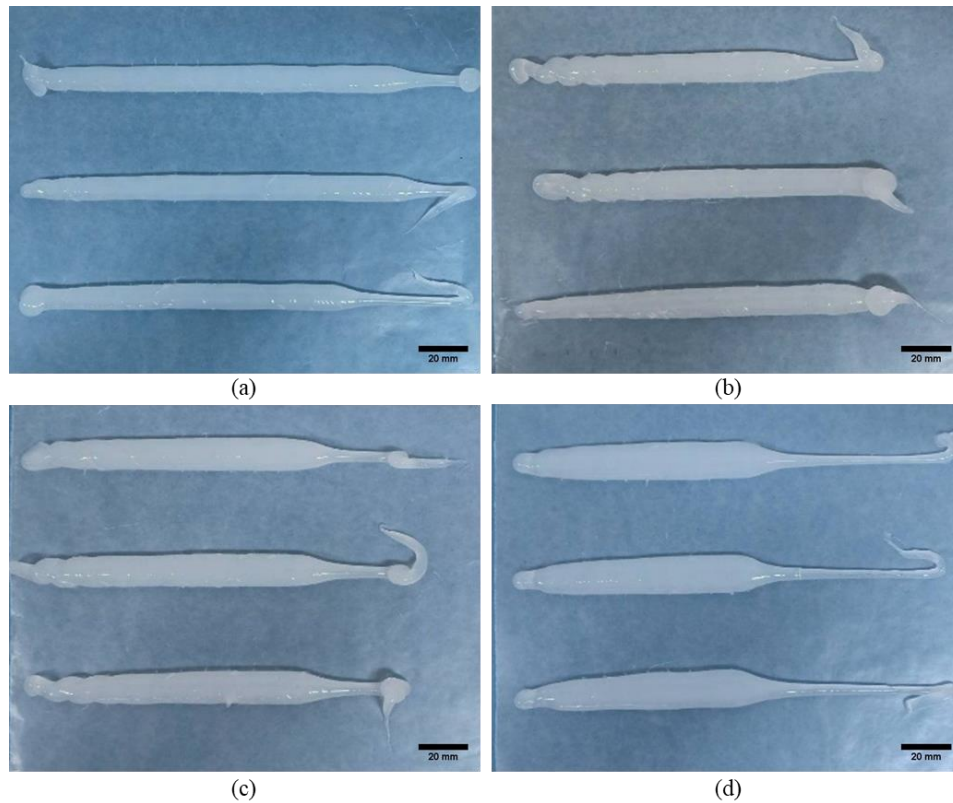
Secara umum, terdapat dua parameter yang mempengaruhi *feeding mechanism* silikone berbasis *syringe pump* yaitu offset, diameter *nozzle*, torsi *stepper motor*, dan kecepatan gerak CNC. Namun dalam penelitian ini, pengujian difokuskan pada variasi torsi *stepper motor* dan kecepatan gerak CNC saja dikarenakan kedua parameter ini secara signifikan mempengaruhi dimensi *line* material silikone yang dihasilkan.

3. HASIL DAN DISKUSI

Pada tahap pengujian, Bentuk objek yang dihasilkan adalah *line* dengan panjang tertentu. Setiap *line* dilakukan pengukuran dimensinya sebanyak 9 titik.

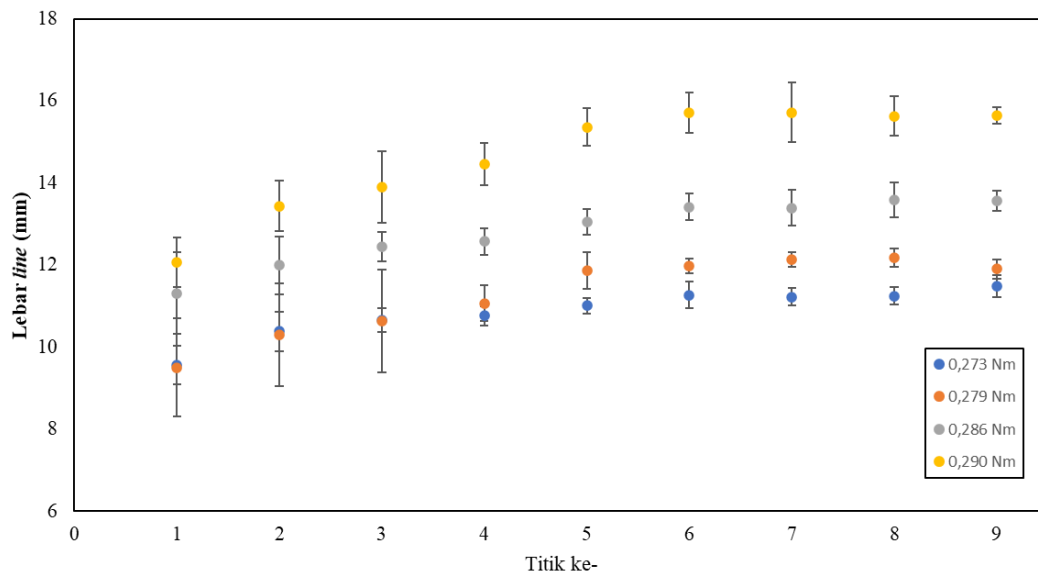
3.1 Variasi torsi stepper motor

Pada tahap ini, dilakukan uji coba *feeding mechanism* untuk silikone pada 3D printer dengan memvariasikan besar torsi sebesar 0,273 Nm, 0,279 Nm, 0,286 Nm, dan 0,29 Nm. Masing-masing variasi torsi menghasilkan kecepatan sudut masing-masing sebesar 50 rpm, 60 rpm, 70 rpm, dan 80 rpm secara berturut-turut. Hasil cetak dengan variasi torsi dan kecepatan gerak CNC yang tetap pada 600 mm/mindapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6: Hasil cetak pada variasi torsi *Stepper Motor* (a) 0,273 Nm; (b) 0,279 Nm; (c) 0,286 Nm; (d) 0,29 Nm

Berdasarkan hasil ukur dimensi dari *line* yang didapatkan melalui variasi torsi dari *stepper motor*, diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada gambar 7.



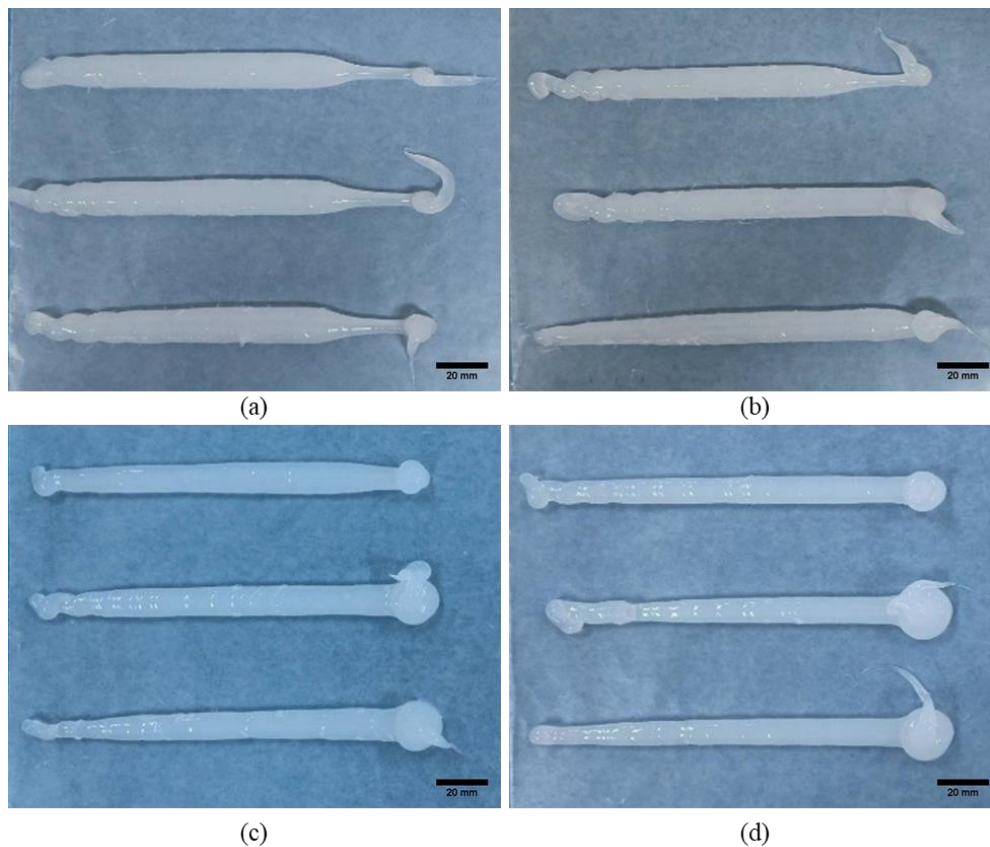
Gambar 7: Grafik diameter rata-rata *line* berdasarkan variasi torsi *stepper motor* pada 9 titik sepanjang *line*

Berdasarkan grafik yang terbentuk, dapat dilihat bahwa silikone memerlukan beberapa waktu sampai membentuk *line* dengan lebar yang stabil. Sebagai contoh, pada variasi torsi 0,273 Nm; lebar *line* rata-rata pada titik 1 bernilai 9,57 mm yang kemudian terus meningkat hingga titik 5 dengan nilai 11,01 mm. Setelah melewati titik 5, lebar *line* terus berada di kisaran 11 mm hingga titik 9. Hal ini berlaku pada seluruh variasi nilai torsi.

Saat silikone keluar dari syringe dan mulai bergerak, terjadi peristiwa pelebaran silikone yang dipengaruhi nilai torsi. Melalui grafik, dapat dilihat bahwa variasi nilai torsi yang memiliki lebar *line* rata-rata secara keseluruhan paling kecil adalah 0,273 Nm; diikuti dengan 0,279 Nm; 0,286 Nm; dan 0,29 Nm secara berurutan. Urutan lebar *line* rata-rata ini berlaku pada sebagian besar pengukuran, kecuali pada titik 1, titik 2, dan titik 3 dengan selisih yang sangat kecil pada 0,273 Nm dan 0,279 Nm. Hal ini dapat terjadi karena pada nilai torsi yang lebih tinggi, silikone akan keluar lebih cepat dari *syringe*, sehingga lebih berpotensi terjadinya penumpukan silikone. Penumpukan tersebut menyebabkan terjadinya massa yang berlebihan sehingga menghasilkan dorongan tambahan. Dorongan inilah yang membuat lebar *line* bertambah. Pada nilai torsi yang lebih rendah, silikone akan lebih lambat keluar dari *syringe* sehingga lebar *line* yang dihasilkan juga bertambah namun tidak sebesar nilai torsi yang lebih tinggi. Melalui pernyataan tersebut, dapat diketahui bahwa semakin kecil nilai torsi, maka pelebaran silikone juga semakin kecil, begitu juga sebaliknya.

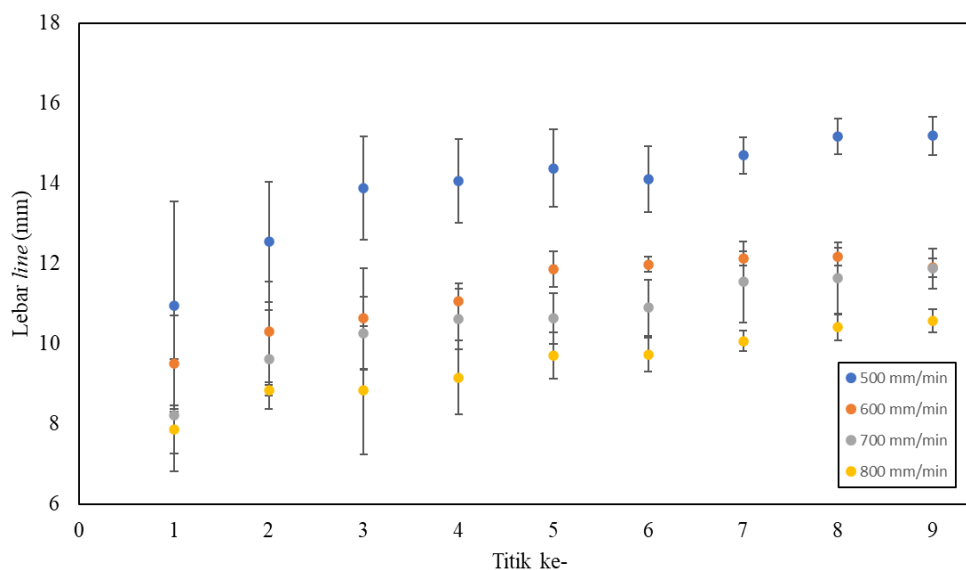
3.2 Variasi kecepatan gerak CNC

Selain uji coba menggunakan variasi parameter torsi, pada penelitian ini juga dilakukan uji parameter dengan memvariasikan kecepatan gerak pada sumbu *x* dari mesin CNC pada 3D printer sebesar 500 mm/min, 600 mm/min, 700 mm/min, dan 800 mm/min dengan torsi tetap sebesar 0,279 Nm. Hasil cetak untuk variasi kecepatan gerak CNC dengan variasi kecepatan sumbu *x* mesin CNC dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8: Hasil cetak pada variasi kecepatan gerak CNC (a) 500 m/min, (b) 600 mm/min, (c) 700 mm/min, (d) 800 mm/min

Berdasarkan hasil ukur dimensi dari line yang didapatkan melalui variasi kecepatan gerak CNC, diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9: Grafik diameter rata-rata *line* berdasarkan variasi kecepatan gerak CNC pada 9 titik sepanjang *line*

Berdasarkan grafik yang terbentuk dapat dianalisis bahwa silikone juga memerlukan beberapa waktu sampai membentuk *line* dengan lebar yang stabil. Sebagai contoh, pada variasi kecepatan gerak 600 mm/min, lebar *line* rata-rata pada titik 1 bernilai 9,50 mm yang kemudian terus meningkat hingga titik 5 dengan nilai 11,86 mm. Setelah melewati titik 5, lebar *line* terus berada di kisaran 11,8 mm – 12,2 mm hingga titik 9. Hal ini juga berlaku pada seluruh variasi nilai kecepatan gerak CNC.

Saat silikone keluar dari *syringe* dan mulai bergerak, terjadi juga peristiwa pelebaran silikone yang dipengaruhi nilai kecepatan gerak. Melalui grafik, dapat dilihat bahwa variasi nilai kecepatan gerak yang memiliki lebar *line* rata-rata secara keseluruhan paling kecil adalah 800 mm/min, diikuti dengan 700 mm/min, 600 mm/min dan 500 mm/min secara berurutan. Urutan lebar *line* rata-rata ini berlaku pada seluruh 9 titik pengukuran. Hal ini dapat terjadi karena pada nilai kecepatan gerak yang lebih rendah, silikone akan cenderung lebih menumpuk. Penumpukan tersebut menyebabkan terjadinya massa yang berlebihan sehingga menghasilkan dorongan tambahan. Dorongan tambahan inilah yang membuat lebar *line* bertambah. Pada nilai kecepatan gerak yang lebih tinggi, penumpukan massa yang terjadi lebih kecil sehingga lebar *line* yang dihasilkan juga bertambah namun tidak sebesar nilai kecepatan gerak yang lebih rendah. Melalui pernyataan tersebut, dapat diketahui bahwa semakin besar kecepatan gerak CNC maka pelebaran silikone semakin kecil, begitu juga sebaliknya.

Secara umum, silikone merupakan material yang dikategorikan sebagai material viskoelastis yang menunjukkan sifat menyerupai cairan yang kental dan juga elastis. Pada material viskoelastis, hubungan antara tegangan dan regangan bergantung pada waktu. Pada material silikone, aliran material akan terinisiasi pada saat tegangan geser yang diberikan oleh dorongan *syringe pump* (τ) melebihi titik luluhnya (*yield point*). Pada saat ini, aliran berperilaku dan menunjukkan karakteristik *shear thinning* yang dijelaskan secara matematik dalam persamaan 1 [17,18],

$$\tau = \tau_v + K\dot{\gamma}^n \quad (1)$$

dimana τ adalah tegangan geser, n adalah pangkat dari *shear thinning* (<1), K adalah parameter viskositas, dan $\dot{\gamma}$ adalah laju tegangan geser (*shear rate*). Dikarenakan sifat viskoelastis yang sensitif terhadap waktu pada material silikone, pada titik awal pencetakan *line*, lebar *line* masih belum stabil pada titik awal. Namun demikian, setelah berjalannya waktu dimana sudah terjadi kesetimbangan respon antara tegangan geser yang dihasilkan oleh *syringe pump* dan aliran material silikone, maka aliran massa keluaran menjadi lebih stabil sehingga menghasilkan lebar *line* yang lebih konsisten.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, perwujudan, serta karakterisasi *feeding mechanism* silikone berbasis *syringe pump* pada 3D printer, dapat disimpulkan bahwa:

1. Perancangan dan perwujudan *feeding mechanism* silikone berbasis *syringe pump* pada 3D printer telah berhasil dilakukan berdasarkan dua parameter yang mempengaruhi laju aliran massa, yaitu torsi *stepper motor* dan kecepatan gerak CNC.
2. Nilai torsi *stepper motor* yang memiliki laju aliran massa paling stabil ditandai dengan selisih lebar *line* rata-rata terkecil. Nilai torsi terkecil (0,273 Nm) memiliki selisih lebar *line* rata-rata terkecil, yaitu 1,92 mm; sedangkan nilai torsi terbesar (0,29 Nm) memiliki selisih lebar *line* rata-rata terbesar, yaitu 3,66 mm. Hal tersebut menandakan semakin kecil nilai torsi *stepper motor*, maka laju aliran massa semakin stabil, begitu juga sebaliknya.
3. Nilai kecepatan gerak CNC yang memiliki laju aliran massa paling stabil ditandai dengan standar deviasi terkecil antar titik pengukuran pada salah satu *line*. Nilai kecepatan gerak CNC terbesar (800 mm/min) memiliki standar deviasi terkecil, yaitu 0,91; sedangkan nilai kecepatan gerak CNC terkecil (500 mm/min) memiliki standar deviasi terbesar, yaitu 2,14. Hal tersebut menandakan bahwa semakin besar nilai kecepatan gerak CNC, maka laju aliran massa semakin stabil, begitu juga sebaliknya.

5. PERNYATAAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih untuk dana penelitian melalui Skema Hibah Desentralisasi Unika Atma Jaya tahun 2021.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] QUAN, Z., dkk., “Additive manufacturing of multi-directional preforms for composites: opportunities and challenges”, *Materials Today*, v.18, n. 9, pp.503-512, Nov. 2015.
- [2] CARRICO, J., TRAEEDEN, N., AURELI, M. dan LEANG, K., “Fused filament 3D printing of ionic polymer-metal composites (IPMCs)”, *Smart Materials and Structures*, v. 24, n. 12, p.125021, Nov. 2015.
- [3] LIU, Z., WANG, Y., WU, B., CUI, C., GUO, Y., dan YAN, C., “A Critical Review of Fused Deposition Modeling 3D Printing Technology in Manufacturing Polylactic Acid Parts”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 102, pp. 2877-2889, Feb. 2019.
- [4] SUTEJA, J., “Effect of Infill Pattern, Infill Density, and Infill Angle on The Printing Time and Filament Length of 3D Printing”, *Jurnal Rekayasa Mesin*, v. 12, n. 1, pp. 145-152, Feb. 2021.
- [5] BUDIANTO, Y.T., SOEWONO, A.D., DARMAWAN, M., “Rancang Bangun Mesin 3D Printer dan Laser Engraver Berbasis Arduino”, *Jurnal Rekayasa Mesin*, v. 15, n. 3, pp. 183-190, Des. 2020.
- [6] MOHAMED, O., MASOOD, S. dan BHOWMIK, J., “Optimization of fused deposition modeling process parameters: a review of current research and future prospects”, *Advances in Manufacturing*, v. 3, n. 1, pp.42-53, Feb. 2015.
- [7] COHRS, N., dkk., “A Soft Total Artificial Heart—First Concept Evaluation on a Hybrid Mock Circulation”, *Artificial Organs*, v. 41, n. 10, pp.948-958. July 2017.
- [8] GUL, J.Z., dkk., “3D printing for soft robotics—a review”. *Science and Technology of Advanced Materials*, v. 19, n. 1, pp.243-262. Mar. 2018.
- [9] WHITESIDES, G. M., “Soft Robotics”, *Angewandte Chemie International Edition*, v. 57, n. 16, pp. 4258-4273, Mar. 2018.
- [10] MAJIDI, C., “Soft-Matter Engineering for Soft Robotics”, *Advanced Materials Technologies*, v. 4, n. 2, pp. 1800477:1-13, Dec. 2018.
- [11] SHEN, Z., CHEN, F., ZHU, X., YONG, K.-T., dan GU, G., “Stimuli-responsive functional materials for soft robotics”, *Journal of Materials Chemistry B*, v. 8, n. 39, pp. 8972-8991, Aug. 2020.
- [12] WANG, C., XIA, K., WANG, H., LIANG, X., YIN, Z., dan ZHANG, Y., “Advanced Carbon for Flexible and Wearable Electronics”, *Advanced Materials*, v. 31, n. 9, 180172:1-37, Mar. 2019.
- [13] XU, K., LU, Y., dan TAKEI, K., “Multifunctional Skin-Inspired Flexible Sensor Systems for Wearable

- Electronics”, *Advanced Materials Technologies*, v. 4, n. 3, pp. 1800628:1-25, Jan. 2019.
- [14] GUO, Y., CHEN, S., SUN, L., YANG, L., ZHANG, L., LOU, J., and YOU, Z., “Degradable and Fully Recycle Dynamic Thermoset Elastomer for 3D-Printed Wearable Electronics”, *Advanced Functional Materials*, v. 31, n. 9, pp. 2009799:1-7, Dec. 2020.
- [15] HAO, M., dkk., “Stretchable, Self-Healing, Transient Macromolecular Elastomeric Gel for Wearable Electronics”, *Microsystems & Nanoengineering*, v. 5, n. 9, pp:1-9, Dec. 2018.
- [16] ABDOLLAHI, S., MARKVICKA, E. J., MAJIDI, C., dan FEINBERG, A. W., “3D Printing Silicone Elastomer for Patient- Specific Wearable Pulse Oximeter”, *Advanced Healthcare Materials*, v. 9, n. 15, pp. 1901735:1-9, Jun. 2020.
- [17] LEWIS, J.A., “Direct Ink Writing of 3D Functional Materials”, *Advanced Functional Materials*, v.16, n. 17, pp. 2193-2204, Oct. 2006.
- [18] HARDIN, J.O., OBER, T.J., VALENTINE, A.D., dan LEWIS, J.A., “Microfluidic Prinheads for Multimaterial 3D Printing of Viscoelastic Inks”, *Advanced Materials*, v. 27, n. 21, pp. 3279-3284, Apr. 2015.