

Pengembangan dan Implementasi Sistem Ekstrusi 3D Printing Material Silicone Rubber

Marten Darmawan^{*1,2}, Damian Matthew Aditya^{1,2}, Djoko Setyanto¹, Arka D. Soewono¹

¹Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi ,
Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya

²PT. Djarum Tbk, Divisi Workshop
E-mail: marten.darmawan@atmajaya.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini berfokus pada pengembangan dan implementasi sistem ekstrusi 3D printing untuk material silicone rubber. Material silicone rubber adalah salah satu material potensial untuk aplikasi di bidang robotika lunak untuk pembuatan komponen sensor atau aktuator elastis. Namun demikian, teknik manufakturnya masih sangat terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk memodifikasi dan mengintegrasikan sistem 3D printer 3 axis dan sistem injeksi satu syringe pump untuk mencetak material silicone rubber. Pengujian dilakukan dengan variasi tipe dorongan injeksi dan variasi kecepatan dorong. Dari hasil pengujian, didapatkan tingkat akurasi dimensi hasil cetak objek dan tipe dorongan dorong henti secara berulang dengan kecepatan konstan pada kecepatan dorong 15 atau 0,51 mm/s dan kecepatan cetak 25 mm/s memiliki tingkat akurasi dan dimensi paling baik dengan dimensi sumbu X sebesar 115,78 mm, sumbu Y sebesar 26,02 mm, dan sumbu Z sebesar 0,99 mm serta akurasi 98,2 %.

Kata kunci :

3D Printing; Silicone Rubber; Sistem Ekstrusi; Syringe Pump; Akurasi Dimensi.

ABSTRACT

This research focuses on the development and implementation of a 3D printing extrusion system for silicone rubber material. Silicone rubber is a potential material for applications in soft robotics, particularly for creating elastic sensors or actuators. However, its manufacturing techniques remain highly limited. This study aims to modify and integrate a 3-axis 3D printer system with a single syringe pump injection system to print silicone rubber material. Testing was conducted by varying the injection push type and push speed. The results showed that the dimensional accuracy of the printed object was influenced by these parameters. The repeated stop-and-push injection method at a constant push speed of 15 (or 0.51 mm/s) and a printing speed of 25 mm/s yielded the best accuracy and dimensions, with the X-axis measuring 115.78 mm, the Y-axis 26.02 mm, and the Z-axis 0.99 mm, achieving an accuracy of 98.2%.

Keywords :

3D Printing; Silicone Rubber; Extrusion System; Syringe Pump; Dimension Accuracy

1. PENDAHULUAN

Di bidang khusus seperti robotika lunak (soft robotics), diperlukan material canggih (advanced materials) untuk membuat sensor dan aktuator yang umumnya berupa komposit dengan sifat lunak dan konduktif. Printer 3D, atau additive manufacturing (AM), menjadi teknik manufaktur yang populer dalam beberapa dekade terakhir untuk bidang teknik, seni, hingga kesehatan, karena proses fabrikasi yang mudah, sederhana, dan biaya

peralatan yang rendah [1-3]. Meskipun penggunaan printer 3D meluas di bidang manufaktur dan teknik, penggunaannya terbatas dalam hal material yang dapat digunakan dan biasanya hanya memproses satu jenis material [4-6].

Penelitian dan pengembangan sistem 3D printer berbasis ekstrusi diperlukan untuk memproses komposit yang menggabungkan sifat elastis dan konduktif untuk menghasilkan material canggih yang dapat diterapkan dalam robotika sebagai sensor

atau aktuator. Penelitian ini fokus pada pengembangan sistem ekstrusi untuk nanokomposit silikon rubber yang memiliki viskositas tinggi, sehingga memerlukan mekanisme ekstrusi khusus. Mekanisme ekstrusi ini akan dikembangkan berbasis ruang pencampur yang terdiri dari base dan katalis. Kedua material ini akan dicampur di ruang pencampur untuk mendapatkan komposisi material dengan karakteristik mekanik dan konduktivitas yang baik serta proses ekstrusi yang lebih mudah dan terkontrol.

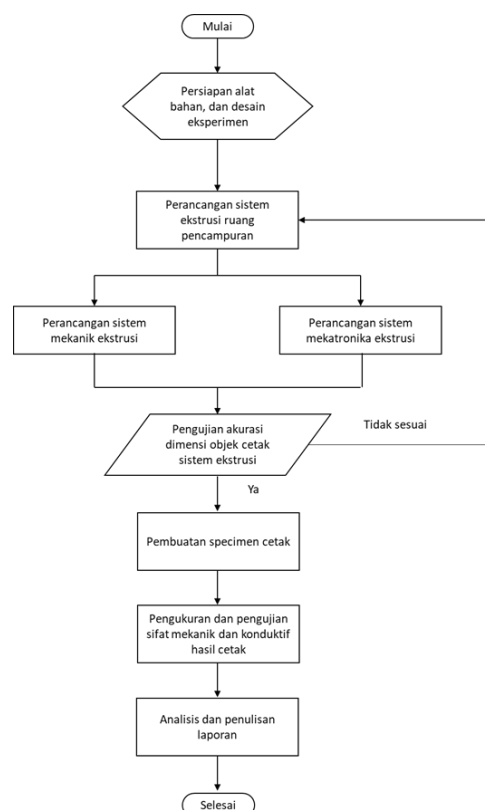
2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini akan dilakukan dua tahap penelitian yang meliputi perancangan komponen ruang pencampuran material base dan katalis dari *silicone rubber*. Pada komponen ini juga akan didesain sistem pendorong lokal yang berfungsi sebagai mekanisme pencampuran bahan serta pendorong material yang sudah tercampur menuju outlet keluaran dari *nozzle*. Pada tahap lanjut, hasil perancangan sistem ekstrusi akan diaplikasikan untuk mencetak objek 3D untuk pembuatan strain sensor yang memiliki karakteristik sifat elastis dan konduktif yang didapatkan dari keunggulan material komposit *silicone rubber* [7-9]. Pada tahap pertama, fokus utama penelitian adalah merancang dan mewujudkan sistem ekstrusi berbasis ruangan pencampur (*mixing chamber*) untuk mengontrol pencampuran material serta secara presisi mengontrol keluaran material komposit menuju *nozzle*. Pada tahap ini, akan dilakukan perancangan mekanisme penggerak, pemilihan elemen mesin, serta integrasi sistem mekanik dan elektronika (mekatronika) yang sesuai untuk kebutuhan ekstrusi material komposit *silicone rubber*. Proses perancangan akan dilakukan dengan menggambar komponen serta elemen mesin yang diperlukan menggunakan *software CAD*. Untuk tahap awal, setiap komponen akan dibuat menggunakan 3D printer dan di-*assembly* untuk uji coba awal pengecekan kesesuaian gerak dan integrasinya dengan komponen elektronika. Setelah dilakukan uji coba awal, sistem ekstrusi akan diwujudkan

dengan menggunakan struktur material yang lebih kokoh sesuai dengan perhitungan gaya kerja yang dibutuhkan untuk pencampuran material dan pendorongan material keluar menuju *outlet nozzle*.

Pada tahap akhir penelitian tahun pertama, akan dilakukan uji parameter untuk mengkarakterisasi sistem ekstrusi yang sudah dirancang untuk mendapatkan data kuantitatif performa sistem ekstrusi dalam mencetak objek 3D material *silicone rubber*. Uji parameter akan dilakukan berdasarkan parameter printing seperti kecepatan cetak, resolusi cetak, dan lain sebagainya terhadap kesesuaian dimensi objek yang diberikan berdasarkan gambar CAD. Melalui tahap pertama penelitian, diharapkan akan didapatkan data awal pengujian sistem ekstrusi berbasis ruang pencampuran (*mixing chamber*) yang secara terkontrol menghasilkan hasil cetak material *silicone rubber* yang memiliki tingkat keakurasian dimensi yang baik serta sifat mekanik yang sesuai untuk strain sensor.

Keseluruhan tahapan proses penelitian dapat dilihat pada diagram alir penelitian berikut (Gambar 1):



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Alur penelitian ini dirancang untuk mengembangkan dan menguji sistem ekstrusi 3D printing berbasis ruang pencampur untuk material silicone rubber. Tahapan penelitian dijelaskan sebagai berikut:

1. Mulai: Tahap awal dari proses penelitian.
2. Persiapan Alat Bahan, dan Desain Eksperimen: Pada tahap ini, peneliti mempersiapkan semua peralatan dan bahan yang diperlukan untuk penelitian termasuk menyiapkan material silicone rubber sebagai bahan baku utama material. Selain itu, desain eksperimen juga dirumuskan untuk menentukan parameter-parameter yang akan diuji dan metode pengumpulan data.
3. Perancangan Sistem Ekstrusi Ruang Pencampuran: Ini adalah tahap inti di mana sistem ekstrusi yang memiliki ruang pencampur dirancang. Ruang pencampur ini berfungsi untuk mencampurkan material base dan katalis dari silicone rubber. Proses perancangan akan dilakukan dengan menggambar komponen serta elemen mesin yang diperlukan menggunakan software CAD.
4. Pengujian Akurasi Dimensi Objek Cetak Sistem Ekstrusi: Setelah perancangan dan perakitan sistem, dilakukan uji coba awal untuk mengecek kesesuaian gerak dan integrasinya dengan komponen elektronika. Uji parameter akan dilakukan berdasarkan parameter printing seperti kecepatan cetak, resolusi cetak, dan lain sebagainya terhadap kesesuaian dimensi objek yang diberikan berdasarkan gambar CAD. Dari hasil pengujian variasi kecepatan dorong dan kecepatan cetak, didapatkan bahwa dimensi pada sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z dari ketiga spesimen setiap variasi memiliki perbedaan.
5. Pembuatan Spesimen Cetak: Setelah sistem ekstrusi terbukti akurat dalam mencetak, tahap ini melibatkan produksi spesimen cetak yang lebih banyak dan

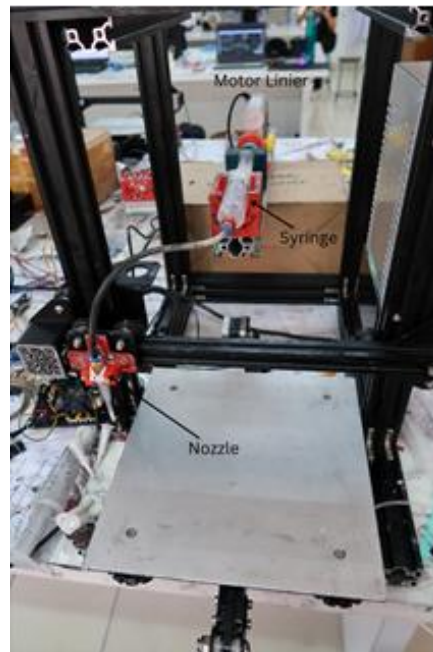
representatif. Spesimen ini akan digunakan untuk pengujian lebih lanjut.

6. Analisis: Data yang terkumpul dari semua tahapan pengujian akan dianalisis secara komprehensif. Hasil analisis akan digunakan untuk menarik kesimpulan mengenai performa sistem ekstrusi dan karakteristik material yang dihasilkan. Selanjutnya, laporan penelitian akan disusun secara lengkap, termasuk latar belakang, metode, hasil, pembahasan, kesimpulan, dan saran.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Rancang Bangun Sistem Injeksi Dua Syringe dengan Tabung Pencampur

Sistem rancangan yang telah melalui tahap desain, perakitan, dan pengujian akan ditunjukkan hasil perwujudan alat dan rangkaiannya secara mekanik maupun elektrik. Berikut ini adalah rangkaian komponen hasil rancang bangun sistem injeksi dua syringe untuk proses pencetakan objek 3 Dimensi dengan material silicone rubber ditunjukkan pada Gambar 2 di bawah ini.

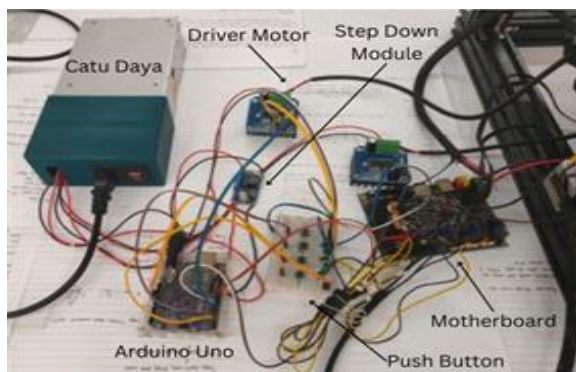


Gambar 2. Sistem Injeksi Syringe 3D Printer

Rancang bangun sistem injeksi dua syringe 3D printer ini terdiri dari dua rangkaian, yaitu rangkaian secara mekanik dan elektrik syringe pump dan rangkaian jalur injeksi material. Rangkaian secara

mekanik syringe pump terdiri dari motor linear actuator, batang aluminium V-slot seri 3060, bracket penyangga motor linear actuator, bracket penyangga silinder syringe, dan bracket plunger motor linear actuator.

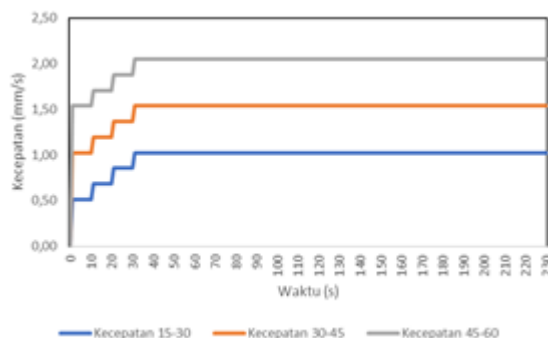
Rangkaian elektrik syringe pump terdiri dari power supply, step down, driver motor linear actuator, breadboard, Arduino UNO, motherboard, LCD, kabel jumper dan push button. Keseluruhan sistem kendali mikrokontroler Arduino dihubungkan dengan kabel jumper. Rangkaian tersebut ditunjukkan pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Rangkaian Elektrik Syringe Pump

3.2 Hasil Cetak dan Analisis

Dalam pengujian, digunakan variasi parameter seperti tipe dorongan secara kontinyu dan kecepatan dorong yang secara gradual meningkat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Tipe Dorongan Injeksi - Dorong Secara Terus-Menerus dengan Kenaikan Kecepatan

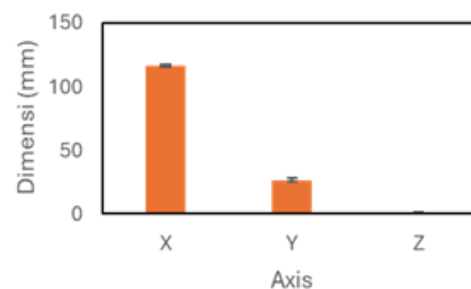
Pada Gambar 4, dapat dilihat bahwa kecepatan dorong naik sebesar 0,17 mm/s atau dalam nilai PWM sebesar 5 setiap 10 detik. Kenaikan kecepatan memiliki range sebesar 0,51 mm/s atau dalam nilai PWM sebesar 15. Variasi kecepatan 15-30

memiliki kecepatan awal 0,51 mm/s dan kecepatan akhir 1,02 mm/s. Variasi kecepatan 30-45 memiliki kecepatan awal 1,02 mm/s dan kecepatan akhir 1,54 mm/s. Variasi kecepatan 45-60 memiliki kecepatan awal 1,54 mm/s dan kecepatan akhir 2,05 mm/s. Dari tipe dorongan ini, semakin cepatnya dorongan seiring berjalannya waktu menyebabkan penambahan tekanan sehingga material yang semakin lama mengeras dapat didorong dengan lancar.

Dari hasil pengujian variasi kecepatan dorong didapatkan bahwa dimensi pada sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z dari ketiga spesimen setiap variasi memiliki perbedaan. Perbedaan yang didapatkan memiliki dimensi yang kurang lebih sama atau memiliki dimensi yang lebih kecil. Hasil dimensi ini didapat karena semakin mengerasnya material seiring berjalan waktu. Untuk menganalisis lebih jauh, data yang didapat diolah agar mendapatkan nilai rata-rata. Penjelasan mengenai variasi pada pengujian variasi kecepatan dorong mengacu pada Tabel 1 dan Gambar 5. Hasil cetak dari variasi kecepatan dorong juga dapat dilihat pada Gambar 6.

Tabel 1. Hasil Dimensi Rata-Rata Pengujian Variasi Kecepatan Dorong

No. Spesimen	Kecepatan Dorong	Dimensi X	Dimensi Y	Dimensi Z
1	15-30	115.15 mm	25.35 mm	0.93 mm
2		116.68 mm	25.7 mm	1.15 mm
3		116.42 mm	27.99 mm	1.13 mm



Gambar 5. Akurasi Dimensi Hasil Cetak pada Aksis X, Y, dan Z



Gambar 6. Hasil Pengujian Variasi Kecepatan Dorong

SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan dan mengimplementasikan sistem ekstrusi 3D printing berbasis ruang pencampur untuk material silicone rubber. Sistem yang dirancang terdiri dari rangkaian mekanik, termasuk motor linear actuator dan batang aluminium V-slot, serta rangkaian elektrik yang meliputi power supply, Arduino UNO, driver motor, dan LCD.

Pengujian dilakukan dengan variasi tipe dorongan injeksi, di mana kecepatan dorong meningkat secara bertahap. Kecepatan dorong dinaikkan sebesar 0,17 mm/s (atau 5 nilai PWM) setiap 10 detik, dengan rentang kenaikan kecepatan total 0,51 mm/s (atau 15 nilai PWM). Hasil pengujian menunjukkan adanya perbedaan dimensi pada sumbu X, Y, dan Z dari objek cetak pada setiap variasi kecepatan dorong dan kecepatan cetak. Perbedaan dimensi yang diamati cenderung sama atau lebih kecil dari yang diharapkan, yang diyakini disebabkan oleh pengerasan material seiring waktu.

Secara keseluruhan, sistem injeksi dua syringe dengan tabung pencampur telah berhasil dirancang dan diwujudkan, menunjukkan potensi untuk mencetak material dengan viskositas tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Majidi, C. (2014). "Soft robotics: a perspective—current trends and prospects for the future." *Soft Robotics* 1(1): 5-11.

- [2] Lu, N. and D.-H. Kim (2014). "Flexible and stretchable electronics paving the way for soft robotics." *Soft Robotics* 1(1): 53-62.
- [3] Lipson, H. and M. Kurman (2013). *Fabricated: The new world of 3D printing*, John Wiley & Sons.
- [4] Guo, N. and M. C. Leu (2013). "Additive manufacturing: technology, applications and research needs." *Frontiers of Mechanical Engineering* 8(3): 215-243.
- [5] S. H. Huang, P. Liu, A. Mokasdar, and L. Hou, "Additive manufacturing and its societal impact: a literature review," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 67, no. 5–8, pp. 1191–1203.
- [6] Duty, C., et al. (2018). "What makes a material printable? A viscoelastic model for extrusion-based 3D printing of polymers." *Journal of Manufacturing Processes* 35: 526- 537.
- [7] A. C. de Oliveira, S. X. dos Santos, and É. T. G. Cavalheiro, "Graphite–silicone rubber composite electrode: Preparation and possibilities of analytical application," *Talanta*, vol. 74, no. 4, pp. 1043–1049.
- [8] Song, P., Song, J. and Zhang, Y., 2020. Stretchable conductor based on carbon nanotube/carbon black silicone rubber nanocomposites with highly mechanical, electrical properties and strain sensitivity. *Composites Part B: Engineering*, 191, p.107979.
- [9] Kumar, V., Lee, G., Choi, J. and Lee, D.J., 2020. Studies on composites based on HTV and RTV silicone rubber and carbon nanotubes for sensors and actuators. *Polymer*, 190, p.122221.