

**Rancang bangun prototipe sistem mekanik mesin manufaktur
aditif dengan deposit timah menggunakan solder**

***Design and development of a prototype mechanical system for an
additive manufacturing machine using tin deposition with solder***

SKRIPSI

Oleh:

Nama: Muhamad Farhan Alfa Salam

NPM: 183030059



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2025**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

N a m a : Muhamad Farhan Alfa Salam

Nomor Pokok Mahasiswa : 183030059

Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Dalam Skripsi yang saya kerjakan ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan/ditulis oleh orang lain untuk memperoleh gelar dari suatu perguruan tinggi,
2. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu/dikutip/disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam referensi,
3. Naskah laporan skripsi yang ditulis bukan dilakukan secara *copy paste* dari karya orang lain dan mengganti beberapa kata yang tidak perlu.
4. Naskah laporan skripsi bukan hasil plagiarisme.

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar maka saya sanggup menerima hukuman/sanksi apapun sesuai peraturan yang berlaku.

Bandung, 18 Oktober 2024

Penulis,



Muhamad Farhan Alfa Salam

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini, sebagai sivitas akademik Universitas Pasundan, saya:

N a m a: Muhamad Farhan Alfa Salam

NPM: 183030059

Program Studi: Teknik Mesin FT UNPAS

Jenis Karya: Skripsi

Menyatakan bahwa sebagai pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, saya menyetujui memberikan kepada Universitas Pasundan Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Rancang bangun prototipe sistem mekanik mesin manufaktur aditif dengan deposit timah menggunakan solder”

Beserta perangkat yang ada (jika ada). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pasundan berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pakalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Bandung, 18 Oktober 2024

Yang menyatakan,



Muhamad Farhan Alfa Salam

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**Rancang bangun prototipe sistem mekanik mesin manufaktur
aditif dengan deposit timah menggunakan solder**



Nama: Muhamad Farhana Alfa Salam
NPM: 183030059

Pembimbing Utama

Ir. Agus Sentana, M.T.

Pembimbing Pendamping

Dr. Ir. H. Dedi Lazuardi, DEA.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

**Rancang bangun prototipe sistem mekanik mesin manufaktur
aditif dengan deposit timah menggunakan solder**



Nama: Muhamad Farhan Alfa Salam
NPM: 183030059

Tanggal sidang skripsi: 25 Juni 2025

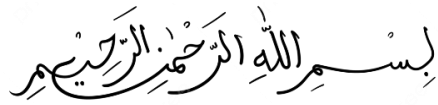
Ketua : Ir. Agus Sentana, M.T.

Sekretaris : Dr. Ir. H. Dedi Lazuardi, DEA.

Anggota : Dr. Ir. Widiyanti Kwintarini, M.T.

Anggota : Ir. Bukti Tarigan, M.T.

KATA PENGANTAR



Assalamu 'alaikum warahmatullohi wabarakatuh

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala kebaikan dan rahmat-Nya yang telah memberikan kesehatan dan kesempatan, sehingga saya dapat menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul **“Rancang bangun prototipe sistem mekanik mesin manufaktur aditif dengan deposit timah menggunakan solder”**. Mengingat keterbatasan pengetahuan dan kemampuan penulisan, skripsi ini tidak luput dari kekurangan dan belum sempurna, namun diharapkan laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya serta bagi semua pihak yang berkenan memanfaatkannya. Peneliti menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada dosen pembimbing yang telah meluangkan banyak waktu serta memberikan bimbingan dan pengarahan sampai terselesaikan skripsi ini.

Selain itu, peneliti juga mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah memberikan kesehatan jasmani dan rohani sehingga peneliti dapat melaksanakan penelitian ini dengan lancar.
2. Orang tua, kakak serta semua keluarga besar yang selalu memberikan doa, semangat dan harapan selama ini sehingga dapat melaksanakan penelitian ini dengan lancar.
3. Bapak Dr. Ir. Sugiharto, M.T. selaku ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Pasundan.
4. Bapak Ir. Agus Sentana, M.T. selaku dosen pembimbing utama.
5. Bapak Dr. Ir. Dedi Lazuardi, DEA. selaku dosen pembimbing pendamping.
6. Seluruh Dosen Teknik Mesin Universitas Pasundan atas ilmu yang telah diberikan selama masa perkuliahan.
7. Intan Puspita Abdul Rahim, A.Md. Keb. yang selalu memberikan dukungan, motivasi, saran, dan nasihat sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Kawan-kawan seperjuangan kosan chicaritos & kantin, Fahmi, Melki, Fauzi, Alf, Ruli, Rino, Ibnu, Astra, Andrew, Aldi, Heru, Dandi, Hamzah, Aldiansyah yang

bersama-sama saling mendukung dan memberi motivasi dalam penyelesaian tugas akhir ini.

9. Seluruh keluarga mahasiswa Teknik Mesin Universitas Pasundan angkatan 2018.

Jazakumullah khairan katsiran,

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh



Bandung, 18 Oktober 2024

Penulis,


Muhamad Farhan Alfa Salam

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN.....	I
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	II
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	III
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	IV
KATA PENGANTAR.....	V
DAFTAR ISI.....	VII
DAFTAR GAMBAR.....	IX
DAFTAR TABEL	XI
ABSTRAK	XII
<i>ABSTRACT</i>	XIII
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1. Latar belakang	1
2. Rumusan masalah	2
3. Tujuan	2
4. Manfaat	2
5. Lingkup masalah.....	2
6. Sistematika penulisan	3
BAB II STUDI LITERATUR	5
1. Manufaktur Aditif.....	5
2. <i>Directed Energy Deposition (DED)</i>	6
3. Sistem Mekanik	7
4. <i>Software</i> Pemodelan atau Perancangan	7
5. Komponen Utama Sistem Mekanik.....	8

**BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN SISTEM MEKANIK MESIN
MANUFAKTUR ADITIF DENGAN DEPOSIT TIMAH MENGGUNAKAN
SOLDER.....17**

1. Tahapan Penelitian..... 17
2. Tempat penelitian 19
3. Desain Konsep Sistem Mekanik Mesin Manufaktur Aditif dengan Deposit Timah
20

BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA HASIL PENGUJIAN.....33

1. Hasil Pengujian..... 33
2. Analisa Hasil Pengujian..... 44

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....45

1. Kesimpulan..... 45
2. Saran..... 45

DAFTAR PUSTAKA.....46

LAMPIRAN.....48

1. Foto-foto Kegiatan..... 48
2. Gambar Teknik 51

DAFTAR GAMBAR

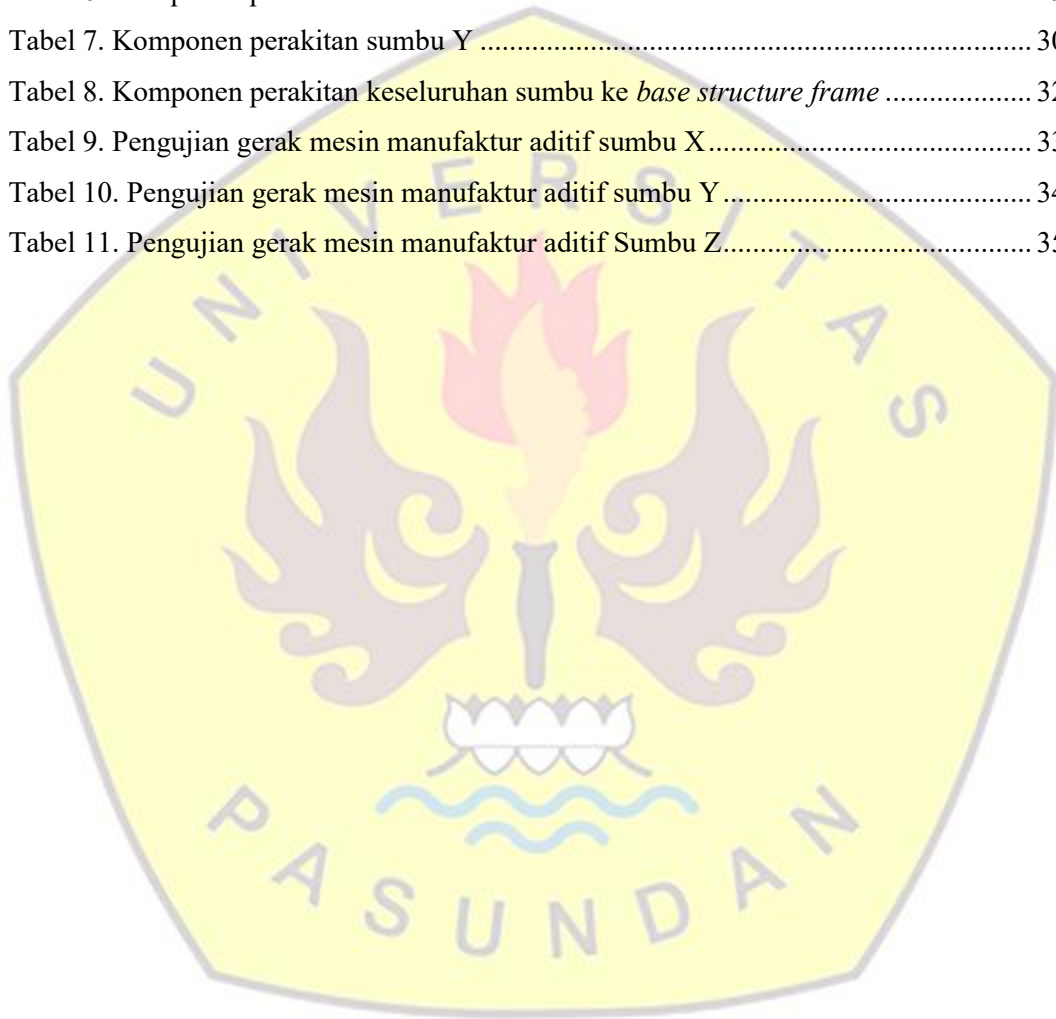
Gambar 1. Skematik proses manufaktur aditif <i>directed energy deposition</i> [6].....	5
Gambar 2. Skematik <i>powder fed & wire fed DED</i> [9][10]	6
Gambar 3. Tampilan awal pada <i>software solidworks</i>	8
Gambar 4. <i>Lead screw</i> [12].....	9
Gambar 5. Alumunium <i>profile V-slot</i> [14].....	11
Gambar 6. (a).Gantry pada sumbu X, (b).Gantry pada sumbu Z, (c).Gantry pada sumbu Y	12
Gambar 7. Motor stepper NEMA 17[17].....	13
Gambar 8. <i>Extruder Drive</i> [19].....	14
Gambar 9. Solder <i>gun</i>	15
Gambar 10. Solder Yihua 936.....	15
Gambar 11. Skematis sistem/elemen pemanas & <i>output</i> timah	16
Gambar 12. Tahapan Penelitian	17
Gambar 13. Lokasi laboratorium Teknik Mesin Universitas Pasundan Bandung	19
Gambar 14. Desain alternatif <i>gantry system (fix bed)</i>	20
Gambar 15. Desain alternatif <i>moving bed system</i>	21
Gambar 16. Perakitan <i>base structur frame</i> dan hasil perakitan <i>base structru frame</i>	26
Gambar 17. Perakitan sumbu Z dan hasil perakitan sumbu Z	27
Gambar 18. Perakitan sumbu X dan hasil perakitan sumbu X.....	29
Gambar 19. Perakitan sumbu Y dan hasil perakitan sumbu Y.....	30
Gambar 20. Perakitan keseluruhan sumbu ke <i>base structure frame</i>	32
Gambar 21. Mesin manufaktur aditif yang sudah dilakukan proses perakitan	32
Gambar 22. Pengujian Gerak Mesin manufaktur aditif Sumbu X	34
Gambar 23. Pengujian Gerak Mesin manufaktur aditif Sumbu Y	35
Gambar 24. Pengujian Gerak Mesin manufaktur aditif Sumbu Z.....	36
Gambar 25. Hasil pengukuran pengujian kalibrasi kotak	37
Gambar 26. Hasil pengukuran pengujian kalibrasi lingkaran	38
Gambar 27. Hasil pengujian kalibrasi teks atau pola bebas	38
Gambar 28. Tampilan <i>import</i> format menjadi STL di <i>software Solidwork</i>	39
Gambar 29. Tampilan <i>import</i> format STL menjadi <i>G-Code</i>	40
Gambar 30. Hasil pengujian pertama.....	41
Gambar 31. Hasil pengujian ke-2	42
Gambar 32. Hasil pengujian ke-2	42

Gambar 33. Hasil pengujian ke-3	43
Gambar 34. Hasil pengujian ke-3	43
Gambar 35. Bahan pembuatan mesin manufaktur aditif.....	48
Gambar 36. Pemasangan rangka sistem mekanik	48
Gambar 37. Pemasangan <i>gantry</i> sumbu X.....	49
Gambar 38. Pemasangan <i>gantry</i> sumbu Y.....	49
Gambar 39. Pemasangan <i>gantry</i> sumbu Z	50



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Diameter Ulir	9
Tabel 2. Data <i>Sheet</i> Motor Stepper	13
Tabel 3. Komponen-komponen bagian kontruksi pada mesin manufaktur aditif	22
Tabel 4. Komponen yang digunakan untuk <i>base structure frame</i>	26
Tabel 5. Komponen perakitan sumbu Z.....	28
Tabel 6. Komponen perakitan sumbu X	29
Tabel 7. Komponen perakitan sumbu Y	30
Tabel 8. Komponen perakitan keseluruhan sumbu ke <i>base structure frame</i>	32
Tabel 9. Pengujian gerak mesin manufaktur aditif sumbu X.....	33
Tabel 10. Pengujian gerak mesin manufaktur aditif sumbu Y.....	34
Tabel 11. Pengujian gerak mesin manufaktur aditif Sumbu Z.....	35



ABSTRAK

Pengembangan teknologi manufaktur aditif tidak hanya digunakan untuk pencetakan berbasis polimer, tetapi juga dapat diterapkan pada pembuatan produk logam. Salah satu metode yang umum digunakan untuk pencetakan logam adalah *Directed Energy Deposition* (DED), yang memanfaatkan sumber energi untuk melelehkan material logam berupa kawat atau serbuk. Penelitian ini mengusulkan penerapan DED bersuhu rendah dengan material kawat timah solder sebagai alternatif yang lebih ekonomis dan aman digunakan untuk skala kecil. Mesin manufaktur aditif ini dirancang menggunakan sistem mekanik CNC 3-sumbu yang digerakkan motor *stepper* melalui mekanisme *lead screw*, dilengkapi *extruder drive* untuk mendorong kawat solder menuju *nozzle* pemanas hasil modifikasi dari solder *gun* dan solder *station* Yihua 936. Berdasarkan hasil pengujian, mesin mampu melakukan proses deposisi logam lunak secara terarah dan stabil, meskipun masih terdapat penyimpangan dimensi pada hasil cetakan. Mesin memiliki dimensi 400 × 450 × 280 mm dengan material rangka aluminium profil 6063, motor *stepper* NEMA 17, dan kawat timah solder Sn60/Pb40 sebagai material deposit.

Kata kunci: CNC 3-sumbu, DED, manufaktur aditif

ABSTRACT

The development of additive manufacturing technology is not only applied to polymer-based printing but can also be utilized for producing metal products. One commonly used method for metal printing is Directed Energy Deposition (DED), which employs an energy source to melt metal material in wire or powder form. This study proposes the application of low-temperature DED using solder wire as a more economical and safer alternative for small-scale applications. The additive manufacturing machine was designed with a CNC 3-axis mechanical system driven by stepper motors through a lead screw mechanism, equipped with an extruder drive to feed solder wire into a heating nozzle modified from a solder gun and a Yihua 936 soldering station. Based on the test results, the machine is capable of performing controlled and stable soft-metal deposition, although dimensional deviations were observed in the printed products. The machine has dimensions of 400 × 450 × 280 mm, uses 6063 aluminum profile for the frame, NEMA 17 stepper motors, and Sn60/Pb40 solder wire as the deposition material.

Keywords: additive manufacturing, CNC 3-axis, DED

BAB I PENDAHULUAN

1. Latar belakang

Manufaktur aditif (*additive manufacturing*) merupakan teknologi yang berkembang pesat dan telah merevolusi cara pembuatan komponen mekanik dan produk rekayasa. Metode ini memungkinkan penciptaan objek tiga dimensi secara bertahap (*layer-by-layer*) langsung dari model digital, dengan efisiensi material yang lebih baik dibandingkan metode manufaktur konvensional seperti pemesinan atau pengecoran [1]. Salah satu cabang manufaktur aditif yang populer dalam pencetakan logam adalah *Directed Energy Deposition (DED)*. Dalam proses *DED*, material logam berbentuk serbuk atau kawat dilelehkan menggunakan sumber energi seperti laser, *electron beam*, atau busur listrik, lalu disusun secara bertahap untuk membentuk objek 3D [2].

Meskipun teknologi *DED* menawarkan potensi besar dalam produksi logam fungsional, tantangan utama dalam penerapannya adalah biaya tinggi, kebutuhan akan peralatan khusus, serta kompleksitas sistem energi tinggi yang digunakan. Oleh karena itu, pengembangan sistem *DED* alternatif yang lebih sederhana dan ekonomis sangat dibutuhkan, khususnya untuk aplikasi skala kecil, pendidikan, dan pengembangan awal produk [3].

Penelitian ini mengusulkan pendekatan baru terhadap sistem *DED* dengan menggunakan kawat timah solder sebagai material logam cair dan elemen pemanas sebagai sumber energi peleleh. Proses ini mengadopsi prinsip *DED* namun dengan pendekatan suhu rendah dan sistem mekanik sederhana berbasis mesin *CNC 3-axis*. Sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi alternatif dalam membangun prototipe mesin manufaktur aditif logam yang murah, mudah dirakit, dan aman digunakan untuk keperluan edukatif serta eksperimen teknologi cetak logam.

Dengan merancang sistem mekanik mesin *CNC 3-axis* yang stabil dan presisi, serta mengintegrasikan sistem pemanas dan ekstruder kawat solder, penelitian ini bertujuan untuk menciptakan mesin *DED* sederhana yang tetap memenuhi prinsip manufaktur aditif logam, namun dengan kompleksitas dan biaya yang jauh lebih rendah.

2. Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini dapat dijabarkan sebagai berikut:

- a. Bagaimana cara merancang sistem mekanik untuk mesin manufaktur aditif yang menggunakan timah solder sebagai bahan cetak?
- b. Apakah sistem mekanik yang dibuat bisa bekerja dengan baik untuk proses pencetakan logam secara bertahap?

3. Tujuan

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah di atas, tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini yaitu:

- a. Membuat prototipe sistem mekanik mesin manufaktur aditif dengan metode *DED* menggunakan timah solder.
- b. Mengevaluasi kemampuan mesin dalam mencetak timah solder secara terarah dan berlapis.

4. Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat, antara lain:

- a. Menjadi referensi dalam pengembangan mesin manufaktur aditif logam skala kecil yang lebih murah dan mudah dibuat.
- b. Memberikan gambaran bagaimana sistem mekanik berbasis *CNC* dapat digunakan untuk proses *DED* menggunakan timah solder.
- c. Mendukung proses pembelajaran dan eksperimen di bidang manufaktur aditif logam bersuhu rendah.

5. Lingkup masalah

Agar penelitian lebih terarah, ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada hal-hal berikut:

- a. Fokus pada perancangan dan pembuatan sistem mekanik saja (tidak mencakup sistem kontrol elektronik secara detail).
- b. Mesin hanya bergerak pada tiga sumbu (X, Y, Z) menggunakan motor *stepper* dan mekanisme *lead screw*.
- c. Material yang digunakan adalah kawat timah solder jenis Sn60/Pb40, tanpa proses pemanasan tambahan seperti laser atau busur listrik.

- d. Proses pencetakan dilakukan dalam skala kecil untuk uji coba konsep, bukan untuk produksi massal.
- e. Evaluasi hasil cetak dilakukan secara visual dan pengukuran dimensi sederhana, bukan uji mekanik material.

6. Sistematika penulisan

Laporan tugas akhir ini terdiri dari lima bab, daftar pustaka, dan lampiran. Kelima bab tersebut yaitu pendahuluan, studi literatur, perancangan dan pembuatan sistem mekanik mesin manufaktur aditif, pengujian dan analisa hasil pengujian, serta kesimpulan, dan saran.

BAB I PENDAHULUAN

Isi dari Bab ini adalah pembahasan latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, manfaat, dan sistematika penulisan.

BAB II STUDI LITERATUR

Isi dari Bab ini adalah pembahasan penyolderan, manufaktur aditif, sistem mekanik, CNC, sistem transmisi, pemilihan material, motor stepper, dan Arduino uno.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Isi Bab ini adalah pembahasan mengenai diagram alir penelitian, manfaat, dan relevansi penelitian juga prediksi hasil penelitian.

BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA HASIL PENGUJIAN

Isi bab ini adalah pembahasan pengujian gerak mesin manufaktur aditif, pengujian proses produksi, dan analisa hasil pengujian

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Isi dari bab ini adalah kesimpulan dan saran yang berhubungan dengan perancangan dan pembuatan sistem mekanik mesin manufaktur aditif.

DAFTAR PUSTAKA

Isi dari bab ini adalah sumber-sumber referensi yang digunakan dalam penyusunan skripsi, baik berupa buku, jurnal, artikel ilmiah, standar, maupun sumber daring yang relevan.

LAMPIRAN

Isi dari bab ini adalah data atau dokumen pendukung yang tidak dicantumkan dalam isi utama skripsi.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian mesin manufaktur aditif dengan deposit timah, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- a. Prototipe sistem mekanik mesin manufaktur aditif dengan deposit timah berhasil direalisasikan dengan dimensi $400 \times 450 \times 280$ mm dan area kerja $300 \times 300 \times 30$ mm. Mesin menggunakan rangka aluminium profil V-Slot 2020 dan 2040 6063, mekanisme gerak CNC 3-sumbu dengan lead screw, serta motor stepper NEMA 17. Sistem dilengkapi extruder drive untuk pendorong kawat solder dan sistem pemanas hasil modifikasi solder gun serta solder station Yihua 936.
- b. Hasil pengujian menunjukkan mesin mampu melakukan gerakan secara terarah dan stabil pada *feed rate* rendah hingga menengah, meskipun pada *feed rate* tinggi terjadi lost steps yang memengaruhi ketepatan dimensi hasil cetak.

2. Saran

Pada mesin manufaktur aditif untuk proses manufaktur aditif memiliki kekurangan dalam hasil proses produksi, yang tidak sesuai dengan gambar yang ditentukan. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan sistem kendali dengan menerapkan sistem *vision* atau sensor *monitoring* agar mesin dapat mendeteksi cacat secara otomatis dan meningkatkan akurasi penempatan timah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Navarro, A. Matar, S. F. Diltemiz, and M. Eshraghi, "Development of a low-cost wire arc additive manufacturing system," *J. Manuf. Mater. Process.*, vol. 6, no. 1, 2022, doi: 10.3390/jmmp6010003.
- [2] T. Özel, H. Shokri, and R. Loizeau, "A Review on Wire-Fed Directed Energy Deposition Based Metal Additive Manufacturing," *J. Manuf. Mater. Process.*, vol. 7, no. 1, 2023, doi: 10.3390/jmmp7010045.
- [3] Z. Jardon *et al.*, "Optimization of hybrid Directed Energy Deposition through production and microstructure assessment," *Procedia CIRP*, vol. 124, no. September, pp. 324–330, 2024, doi: 10.1016/j.procir.2024.08.127.
- [4] F. W. C. Farias, T. J. G. dos Santos, and J. P. Oliveira, *Directed energy deposition + mechanical interlayer deformation additive manufacturing: a state-of-the-art literature review*, vol. 131, no. 3–4. Springer London, 2024. doi: 10.1007/s00170-024-13126-5.
- [5] A. Saboori, A. Aversa, G. Marchese, S. Biamino, M. Lombardi, and P. Fino, "Application of directed energy deposition-based additive manufacturing in repair," *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 16, 2019, doi: 10.3390/app9163316.
- [6] D. G. Ahn, *Directed Energy Deposition (DED) Process: State of the Art*, vol. 8, no. 2. Korean Society for Precision Engineering, 2021. doi: 10.1007/s40684-020-00302-7.
- [7] J. A. D. De la Peña, P. A. Limon-Leyva, P. Cortes, and K. Choo, "Modeling of Direct Energy Deposition for Wire Laser Additive Manufacturing," *J. Mater. Eng. Perform.*, 2025, doi: 10.1007/s11665-025-10665-0.
- [8] M. Simonelli *et al.*, "Towards digital metal additive manufacturing via high-temperature drop-on-demand jetting," *Addit. Manuf.*, vol. 30, no. October, p. 100930, 2019, doi: 10.1016/j.addma.2019.100930.
- [9] D. Svetlizky *et al.*, "Directed energy deposition (DED) additive manufacturing: Physical characteristics, defects, challenges and applications," *Mater. Today*, vol. 49, no. December, pp. 271–295, 2021, doi: 10.1016/j.mattod.2021.03.020.
- [10] W. J. Sames, F. A. List, S. Pannala, R. R. Dehoff, and S. S. Babu, "The metallurgy and processing science of metal additive manufacturing," *Int. Mater. Rev.*, vol. 61, no. 5, pp. 315–360, 2016, doi: 10.1080/09506608.2015.1116649.
- [11] K. B. Mustapha, "Integration of SolidWorks ' Simulation Capability in the Teaching of Engineering I ntegration of SolidWorks ' Simulation Capability in the Teaching of Engineering

- Mechanics,” no. August, 2020.
- [12] Y. Liu, X. Feng, Q. He, Q. Wang, H. Yu, and H. Liu, “Investigation on the thermal characteristics of double-driven hydrostatic lead screw micro-feed system,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 255, p. 123926, Oct. 2024, doi: 10.1016/J.APPLTHERMALENG.2024.123926.
 - [13] S. Sunardi, “Rencana Pembelajaran Semester Mata Kuliah Pemilihan Material dan Proses,” *eprints.untirta.ac.id*, Accessed: Dec. 13, 2024. [Online]. Available: <https://eprints.untirta.ac.id/5837/1/2021.RPS.MSP.pdf>
 - [14] Z. He, H. Wang, M. Wang, G. L.-T. N. M. S. China, and undefined 2012, “Simulation of extrusion process of complicated aluminium profile and die trial,” *cnnmol.com*, Accessed: Dec. 13, 2024. [Online]. Available: http://www.cnnmol.com/Search/ResultViewDetail.aspx?conID=dFycY2rblIk%3D&_d_id=66591123218ccc62310968d793e668
 - [15] H. Omar, “Control of gantry and tower cranes,” 2003, Accessed: Dec. 13, 2024. [Online]. Available: <https://search.proquest.com/openview/1c8fb18d63ef4a82c860e0182a338d4f/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>
 - [16] R. Hartono, Sugiharto, and B. Tarigan, “Pengendalian Motor Penggerak Mekanisme Penggerak Pahat Mesin Router Nc Pada Arah Sumbu X , Sumbu Y, dan Sumbu Z Secara Serempak,” *J. Tek. Mesin S-I*, no. April, pp. 18–31, 2017, [Online]. Available: <http://repository.unpas.ac.id/15922/>
 - [17] EINSTRONIC, “Stepper motor NEMA 17,” *C.S.I.O. Commun.*, vol. 5, no. 3, p. 44, 1978.
 - [18] H. Xu *et al.*, “The effect of wire-feeding direction on quality and accuracy of unsupported wire arc additive manufacturing,” *Addit. Manuf. Front.*, vol. 4, no. 3, p. 200214, 2025, doi: 10.1016/j.amf.2025.200214.
 - [19] G. Narender and S. Chaudhuri, “Design of Wire Feeder System for Metal Additive Manufacturing Process : A Review,” pp. 73–76.
 - [20] S. Iron, “How to solder Select a Soldering Iron,” pp. 1–29.
 - [21] N. Collins and S. Lonergan, *How to Solder*. 2020. doi: 10.4324/9780429264818-8.