

Investigation of chessboard scanning strategy in selective laser melting of Ti6Al4

Amirah Salsabila Widad Putri^a, Sugeng Supriadi^{a,1}, Bambang Suharno^b

^aDepartemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, 16424

^bDepartemen Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, 16424

¹sugeng@eng.ui.ac.id

Abstract. Selective Laser Melting (SLM) is recognized as a technology capable of producing metallic components with advantages in geometric flexibility and consistency of mechanical properties. Among the various alloys processed through SLM, titanium alloy Ti6Al4V is particularly attractive due to its superior strength-to-weight ratio, corrosion resistance, and thermal stability. Nevertheless, the quality of as-SLM Ti6Al4V parts is strongly affected by the selection of process parameters. In particular, the laser scanning strategy plays a decisive role in governing energy distribution, thermal gradients, and subsequent microstructural evolution during fabrication. One of the scanning approaches, the chessboard strategy, has gained significant attention because it subdivides the building area into smaller islands that are scanned alternately, reducing scan length and promoting more uniform heat distribution. This study investigates the application of the chessboard strategy in fabricating cylindrical Ti6Al4V specimens, with the process maintained constantly. The fabricated geometry exhibited good agreement with the original design, confirming the capability of SLM to reproduce complex features under controlled conditions. Surface characterization revealed protrusions on the top surface (upskin), attributed to excess energy accumulation at the end of scan tracks, while fine wavy-bulgy patterns were observed on the lateral surfaces due to overlapping melt pools and re-solidified particles. The measured average surface roughness (R_a) was $4.275 \pm 0.655 \mu\text{m}$, falling within an acceptable range for SLM-fabricated components. In addition, scanning electron microscopy (SEM) analysis revealed the presence of lack-of-fusion porosity, indicating localized imperfections in powder melting and consolidation. Overall, the findings highlight that the chessboard scanning strategy not only influences thermal distribution but also directly affects surface morphology and porosity characteristics, providing essential insights for optimizing as-SLM Ti6Al4V.

Keywords: selective laser melting, chessboard strategy, ti6al4v, surface roughness, porosity

Received: 30 September 2025; **Presented:** 9 October 2025; **Publication:** 9 March 2026

DOI: <https://doi.org/10.71452/j8jemj90>

PENDAHULUAN

Selective Laser Melting (SLM) merupakan metode manufaktur aditif yang digunakan untuk menghasilkan komponen dengan tingkat densifikasi tinggi, sehingga secara langsung memengaruhi performa mekanik komponen yang diproduksi [1]. Dibandingkan dengan metode manufaktur konvensional, SLM memiliki keunggulan dalam hal fleksibilitas desain, kemampuan memproduksi beragam geometri, serta potensi untuk menghasilkan sifat mekanik yang lebih seragam [2, 3]. Berdasarkan kemampuan tersebut, SLM banyak dimanfaatkan dalam fabrikasi komponen berbasis paduan logam, terutama material titanium, khususnya paduan Ti6Al4V. Melalui SLM, Ti6Al4V dapat difabrikasi menjadi komponen dengan keunggulan yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode konvensional, seperti mikrostruktur yang lebih halus, homogenitas sifat mekanik, serta performa stabilitas termal. Keunggulan tersebut menjadikan Ti6Al4V hasil SLM lebih kompetitif, terutama ketika dibutuhkan kombinasi antara keandalan struktural dan desain produk [4, 5].

Untuk memperoleh kualitas produk SLM yang optimal, sejumlah tantangan teknis masih harus diatasi agar kualitas produk yang sesuai tercapai. Salah satu masalah utama yaitu timbulnya tegangan sisa (residual stress) yang signifikan akibat gradien temperatur tinggi

selama proses peleburan dan solidifikasi yang cepat. Hal tersebut berpengaruh terhadap penurunan keuletan paduan titanium karena terbentuknya mikrostruktur martensitik yang cenderung rapuh [6]. Kondisi termal yang cukup ekstrim sering menyebabkan distorsi, retakan, hingga kegagalan premature pada komponen [7]. Fenomena selama fabrikasi SLM berlangsung dipengaruhi oleh pengaturan yang tepat terhadap proses parameter untuk menjamin keandalan produk akhir [8].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, salah satu parameter proses yang turut menentukan adalah scanning strategy (strategi pemindaian). Parameter ini didefinisikan sebagai pola lintasan laser saat memindai dan melelehkan serbuk pada tiap lapisan [9]. Pola pemindaian ini memengaruhi distribusi panas, laju pendinginan, arah pertumbuhan butir, dan akumulasi tegangan sisa pada komponen [10]. Beberapa studi sebelumnya menunjukkan bahwa perubahan sederhana dalam pola pemindaian dapat menghasilkan perbedaan pada kualitas komponen, mulai dari distribusi porositas, surface roughness hingga sifat mekanik [11, 12]. Liu, et al. mengeksplorasi bagaimana strategi pemindaian memengaruhi mikrostruktur pada Ti6Al4V. Melalui studinya, terbukti bahwa pola pemindaian menghasilkan distribusi energi di area leleh sehingga membuka peluang untuk menyesuaikan sifat mekanik

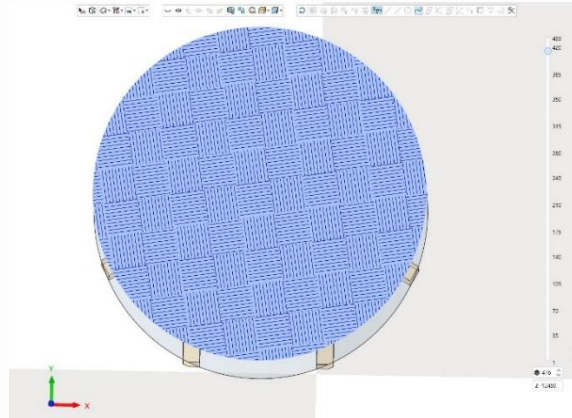
dan perilaku isotropik dari pemilihan pola pemindaian [13]. Strantza, et al. juga menunjukkan pengaruh strategi pemindaian terhadap pembentukan dan distribusi tegangan sisa pada paduan Ti6Al4V. Dengan pendekatan eksperimen yang dilakukan, penelitian ini menemukan bahwa strategi pemindaian tidak hanya memengaruhi tingkat tegangan lokal, tetapi juga pola akumulasi tegangan pada keseluruhan struktur, yang pada akhirnya berdampak pada kemungkinan distorsi dan retakan [14]. Seiring dengan strategi pemindaian, proses parameter lain seperti daya laser, kecepatan pemindaian, dan jarak antarlintasan (hatch spacing) turut berperan dalam menentukan laju pendinginan material yang dicetak. Daya laser yang tinggi dan kecepatan pemindaian yang lambat menghasilkan masukan energi yang lebih besar, sehingga laju pendinginan menjadi lebih lambat dan terbentuk mikrostruktur yang lebih kasar. Sebaliknya, daya laser yang lebih rendah dan kecepatan pemindaian yang lebih tinggi menghasilkan pendinginan yang lebih cepat, sehingga menghasilkan mikrostruktur yang lebih halus dan sifat mekanis yang lebih baik [15, 16].

Berbagai jenis strategi pemindaian telah diteliti, mulai dari pola yang sederhana seperti stripes hingga variasi rotasi untuk setiap lapisan. Di antara beragam pola tersebut, strategi chessboard menjadi fokus utama karena mampu memecah area besar menjadi beberapa segmen kecil (islands) yang dipindai secara bergantian. Metode ini dapat mengurangi panjang lintasan pemindaian sehingga mendistribusikan panas lebih merata, serta mengurangi akumulasi tegangan sisa, yang terkonfirmasi melalui studi yang dilakukan oleh Ali, et al. [17, 18]. Sementara itu, hasil dari Zagade, et al. turut mendukung temuan sejumlah penelitian sebelumnya. Studi tersebut memodelkan distribusi termal pada pola chessboard dan menemukan penurunan ketidakseragaman temperatur dibandingkan dengan strategi linier [19]. Namun demikian, kajian mengenai pengaruh strategi chessboard pada komponen Ti6Al4V masih berfokus pada distribusi termal, tanpa menelaah keterkaitan menyeluruh antara distribusi tegangan dengan kondisi permukaan maupun porositas yang terbentuk. Kekasaran permukaan merupakan karakteristik penting dari komponen SLM, di mana kombinasi dari berbagai parameter akan berpengaruh terhadap

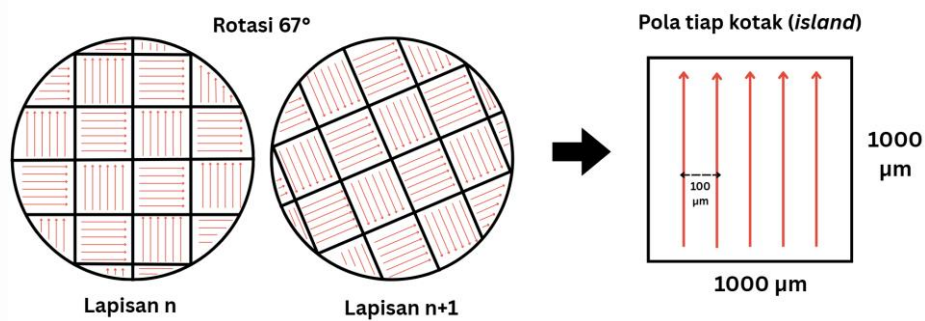
kinerja komponen [20]. Permasalahan terkait kekasaran permukaan juga muncul akibat fenomena pada up skin dan down skin. Pada kondisi down skin, zona fusi berada di atas lapisan serbuk yang mendasarinya [21]. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini difokuskan untuk menginvestigasi pengaruh strategi pemindaian chessboard dalam proses SLM Ti6Al4V. Melalui pendekatan ini, diharapkan penelitian dapat memberikan pemahaman terkait pemindaian chessboard, khususnya terhadap kondisi permukaan dan potensi cacat porositas.

METODOLOGI

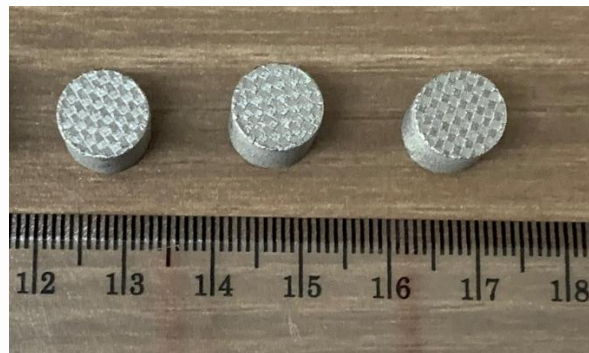
Spesimen pada penelitian ini didesain dalam bentuk silinder padat dengan diameter dan tinggi masing-masing 1 cm. Desain spesimen dibuat dalam format STL, kemudian diatur pada perangkat lunak platform bed untuk menentukan parameter proses, khususnya strategi pemindaian, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Strategi pemindaian yang digunakan adalah chessboard, di mana area cetak dibagi menjadi kotak-kotak kecil (islands) dan dipindai secara bergantian, di mana pada setiap lapisan dilakukan rotasi sebesar 67° seperti diilustrasikan pada Gambar 2. Fabrikasi spesimen dilakukan menggunakan mesin SLM Trumpf TruPrint 2000 dengan material serbuk Ti6Al4V yang memiliki rentang ukuran partikel 15-45 μm . Parameter proses ditetapkan secara konstan untuk menjaga konsistensi hasil percobaan. Daya laser (laser power) diatur sebesar 100 W, sedangkan kecepatan pemindaian (scanning speed) ditetapkan pada 1000 mm/s. Proses pencetakan spesimen dengan parameter tersebut menghasilkan produk sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Selanjutnya, untuk tujuan karakterisasi, spesimen utama dipotong secara melintang guna memudahkan pengamatan bagian dalam. Hasil pemotongan tersebut dibagi menjadi zona pengamatan, yaitu zona A pada bagian atas dan zona B untuk bagian potongan dari area selimut silinder sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4. Pembagian zona ini dimaksudkan untuk menganalisis variasi kondisi mikrostruktur, permukaan, dan porositas pada area yang berbeda dari spesimen.



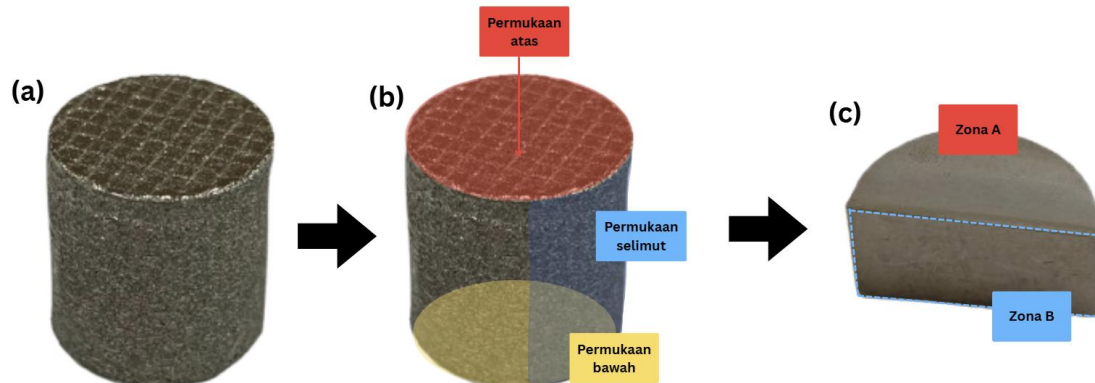
Gambar 1. Visualisasi strategi pemindaian chessboard pada komponen



Gambar 2. Skema strategi pemindaian chessboard pada spesimen



Gambar 1. Hasil cetak spesimen SLM berbentuk silinder padat



Gambar 2. Representasi spesimen hasil proses SLM: (a) Spesimen cetak berbentuk silinder; (b) identifikasi permukaan; (c) spesimen yang dipotong secara melintang untuk analisis

HASIL DAN PEMBAHASAN

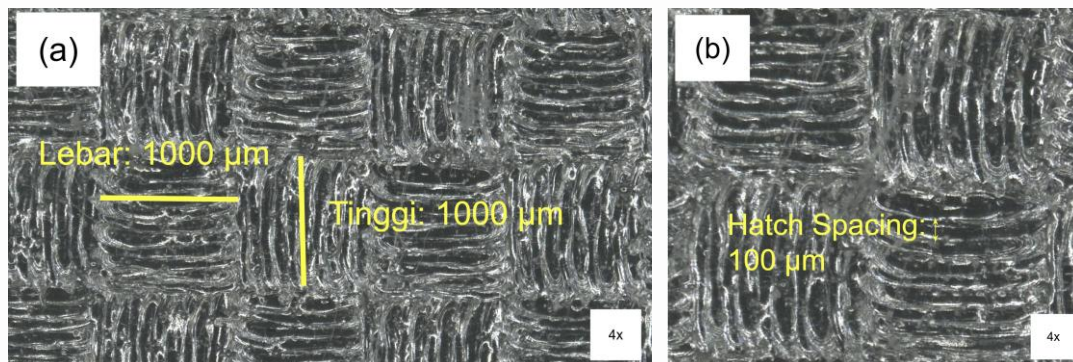
Kondisi Permukaan

Pengamatan dilakukan secara khusus pada permukaan atas yang terdefinisikan sebagai upskin dari spesimen yang difabrikasi menggunakan strategi pemindaian chessboard. Hasil observasi ditampilkan pada Gambar 5, yang menunjukkan karakteristik visual dari permukaan atas (area upskin) spesimen setelah proses pencetakan. Secara umum, permukaan atas tampak membentuk pola sesuai dengan strategi pemindaian yang ditentukan, di mana lintasan-lintasan laser menghasilkan susunan jalur yang beraturan sesuai parameter yang telah diatur. Berdasarkan observasi

mikroskop, terlihat dengan jelas bahwa jarak antarjalur laser (*hatch spacing*) sesuai dengan nilai parameter yang ditentukan, yakni sebesar 100 μm . Hal tersebut mengindikasikan bahwa sistem pencetakan bekerja secara konsisten terhadap input parameter proses yang diberikan. Hasil pengamatan juga memperlihatkan bahwa pembagian area menjadi tiap kotak (*island*) dengan ukuran 1000 $\times$ 1000 μm dapat tervalidasi secara morfologi permukaan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6. Dengan kata lain, baik jarak antarlintasan maupun ukuran *island* pada pola chessboard dapat diamati secara nyata pada hasil permukaan atas, sehingga dapat dipastikan bahwa kontrol parameter yang digunakan dalam penelitian ini berhasil direalisasikan pada produk fisik.



Gambar 5. Kondisi permukaan atas (*upskin*) spesimen SLM Ti6Al4V dengan strategi pemindaian chessboard



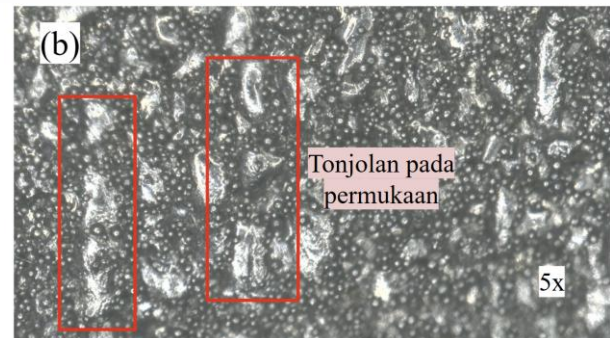
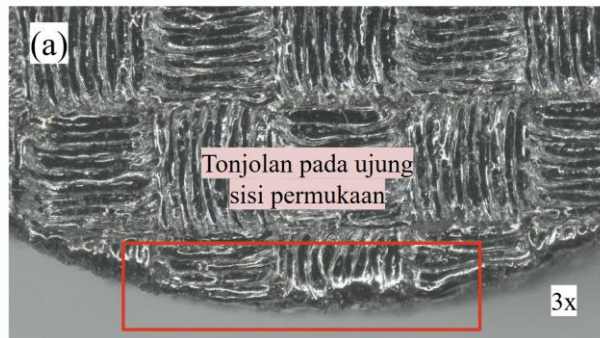
Gambar 3. Observasi mikroskop permukaan atas (*upskin*) spesimen: (a) pola *chessboard* sesuai dengan ukuran parameter yang telah ditentukan; (b) jarak antar lintasan (*hatch spacing*) terukur konsisten

Secara keseluruhan, hasil pengamatan kondisi permukaan atas menunjukkan bahwa strategi pemindaian chessboard mampu mereplikasi parameter desain secara akurat, baik dari segi jarak lintasan laser maupun dimensi *island*. Akan tetapi, pola tumpukan lintasan ini turut memberikan kontribusi terhadap terbentuknya kontur tepi yang tidak seragam, sehingga menimbulkan tonjolan seperti yang teramati pada Gambar 7a. Tonjolan tersebut terbentuk akibat akumulasi energi berlebih di ujung lintasan laser. Pada bagian

akhir lintasan terjadi penyerapan energi berlebih, sehingga serbuk logam yang mencair akan menumpuk dan menghasilkan pelebaran serta peninggian saluran lelehan. Kondisi tersebut cenderung menghasilkan permukaan berbentuk gelombang halus ditunjukkan pada Gambar 7b. Akibatnya, pada sisi selimut spesimen terbentuk tonjolan yang menyebabkan permukaan tidak rata dan meningkatkan potensi nilai kekasaran [22]. Meskipun demikian, hasil pengukuran kekasaran per-

mukaan pada permukaan selimut spesimen menunjukkan nilai Ra yang diperoleh masih berada dalam kategori sesuai, yakni sebesar $4,275 \pm 0,655 \mu\text{m}$. Nilai ini sejalan dengan yang disebutkan oleh Aparicio, et al. bahwa untuk aplikasi implant, kekasaran permukaan

optimum bagi proses osseointegrasi berada di kisaran $4,5 \mu\text{m}$ [23]. Dengan demikian, walaupun terdapat profil tonjolan akibat pola lintasan pemindaian, kualitas permukaan spesimen yang dihasilkan masih memenuhi rentang kekasaran yang direkomendasikan.

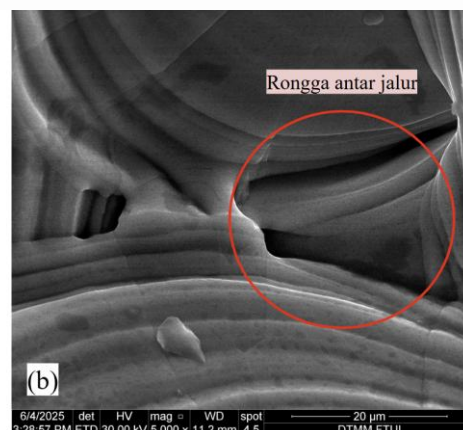
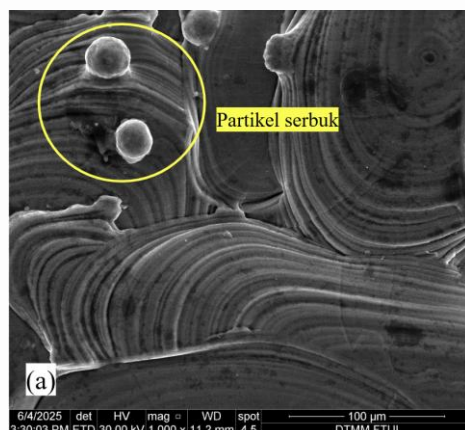


Gambar 7. Kondisi tonjolan pada spesimen hasil SLM dengan strategi pemindaian chessboard: (a) tonjolan pada ujung sisi permukaan; (b) tonjolan yang terbentuk pada area selimut, ditandai dengan kontur tidak rata

Fenomena Porositas

Pengamatan SEM pada spesimen hasil pencetakan dengan strategi chessboard menunjukkan adanya dua kondisi berbeda pada spesimen. Gambar 8a menyajikan partikel berbentuk sferis yang menempel di antara jalur solidifikasi kolom lelehan (melt pool). Fitur ini mengindikasikan adanya serbuk logam yang tidak sepenuhnya meleleh selama proses SLM. Hal tersebut menandakan bahwa meskipun energi laser cukup untuk membentuk jalur lelehan, sebagian kecil serbuk di area sekitar jalur masih tertinggal sebagai residu padat. Kondisi tersebut dapat dikaitkan dengan distribusi energi yang tidak merata pada batas melt pool atau akibat adanya variasi konduktivitas termal antara serbuk yang lepas dan material yang telah terfusi [24, 25]. Sementara itu, pada Gambar 8b terlihat adanya rongga yang terbentuk di antara tumpukan jalur

laser. Rongga ini terindikasi sebagai porositas akibat lack of fusion di antara jalur yang tidak sepenuhnya saling menutup sehingga meninggalkan celah permanen setelah pendinginan. Fenomena ini umum terjadi pada strategi chessboard, karena urutan peleburan setiap blok kecil (island) menyebabkan sebagian area berbatasan langsung dengan serbuk tanpa dukungan melt pool yang stabil, sehingga fusi antarblok kurang optimal. Kondisi tersebut sesuai dengan yang dilaporkan oleh Valente, et al. yang menyebutkan bahwa strategi chessboard menghasilkan porositas lebih tinggi dengan dominasi pori tidak beraturan di batas antarblok kecil (island). Strategi chessboard memang secara efektif mengurangi tegangan residu, namun kualitas densifikasi menjadi turun akibat keterbatasan dalam keterhubungan jalur melt pool [26].



Gambar 8. Observasi SEM pada jalur pemindaian spesimen SLM Ti6Al4V: (a) partikel sferis serbuk yang masih menempel pada jalur melt pool; (b) rongga porositas yang terbentuk di antara tumpukan jalur laser

KESIMPULAN

Fabrikasi spesimen Ti6Al4V dengan metode Selective Laser Melting (SLM) menggunakan strategi pemindaian chessboard berhasil dilakukan. Hasil pengamatan menunjukkan adanya kesesuaian antara ukuran chessboard pada desain dengan hasil cetak, di mana SLM mampu merealisasikan spesimen sesuai parameter yang telah ditetapkan. Pada kondisi permukaan atas (upskin), teramati tonjolan di ujung lintasan laser akibat akumulasi energi berlebih, sementara pada area selimut permukaan terbentuk gelombang halus yang dihasilkan dari tumpukan serbuk meleleh pada jalur melt pool. Pengukuran kekasaran permukaan menunjukkan nilai Ra sebesar $4,275 \pm 0,655 \mu\text{m}$, yang masih berada dalam rentang

yang sesuai. Selain itu, hasil pengamatan SEM memperlihatkan adanya rongga pada tumpukan jalur lelehan yang mengindikasikan porositas tipe lack of fusion, menandakan adanya fenomena ketidaksempurnaan peleburan lokal dalam proses pencetakan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terimakasih disampaikan kepada laboratorium lantai 3 Gedung Science Techno Park Universitas Indonesia yang telah menyediakan fasilitas, khususnya mesin SLM.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. K. Gokuldoss, S. Kolla, and J. Eckert, "Additive Manufacturing Processes: Selective Laser Melting, Electron Beam Melting and Binder Jetting—Selection Guidelines," *Materials*, vol. 10, no. 6, doi: 10.3390/ma10060672.
- [2] H. Gong, V. K. Nadimpalli, K. Rafi, T. Starr, and B. Stucker, "Micro-CT Evaluation of Defects in Ti-6Al-4V Parts Fabricated by Metal Additive Manufacturing," *Technologies*, vol. 7, no. 2, doi: 10.3390/technologies7020044.
- [3] G. Liu et al., "Additive manufacturing of structural materials," *Materials Science and Engineering: R: Reports*, vol. 145, p. 100596, 2021/07/01/ 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.msre.2020.100596>.
- [4] W. Chen and Z. Li, "11 - Additive manufacturing of titanium aluminides," in *Additive Manufacturing for the Aerospace Industry*, F. Froes and R. Boyer Eds.: Elsevier, 2019, pp. 235-263.
- [5] H. D. Nguyen et al., "A critical review on additive manufacturing of Ti-6Al-4V alloy: microstructure and mechanical properties," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 18, pp. 4641-4661, 2022/05/01/ 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.04.055>.
- [6] J. Han, Y. Ge, Y. Mao, and M. Wu, "A study on the surface quality of the 3D printed parts caused by the scanning strategy," *Rapid Prototyping Journal*, vol. 25, no. 2, pp. 247-254, 2019, doi: 10.1108/RPJ-06-2017-0125.
- [7] Z. Yan et al., "Review on thermal analysis in laser-based additive manufacturing," *Optics & Laser Technology*, vol. 106, pp. 427-441, 2018/10/01/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2018.04.034>.
- [8] W. Xiong et al., "Effect of selective laser melting parameters on morphology, microstructure, densification and mechanical properties of supersaturated silver alloy," *Materials & Design*, vol. 170, p. 107697, 2019/05/15/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.107697>.
- [9] J. Robinson, I. Ashton, P. Fox, E. Jones, and C. Sutcliffe, "Determination of the effect of scan strategy on residual stress in laser powder bed fusion additive manufacturing," *Additive Manufacturing*, vol. 23, pp. 13-24, 2018/10/01/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.07.001>.
- [10] H. Jia, H. Sun, H. Wang, Y. Wu, and H. Wang, "Scanning strategy in selective laser melting (SLM): a review," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 113, no. 9, pp. 2413-2435, 2021/04/01 2021, doi: 10.1007/s00170-021-06810-3.
- [11] C. Sheng, Z. Yichao, L. Chao Voon Samuel, and W. Xinhua, "Review of laser powder bed fusion (LPBF) fabricated Ti-6Al-4V: process, post-process treatment, microstructure, and property," *Light: Advanced Manufacturing*, vol. 2, no. 3, pp. 313-332, 2021, doi: 10.37188/lam.2021.020.
- [12] S. M. Tawfik, M. N. A. Nasr, and H. A. El Gamal, "Finite element modelling for part distortion calculation in selective laser melting," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 58, no. 1, pp. 67-74, 2019/03/01/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2018.12.010>.
- [13] J. Liu, G. Li, Q. Sun, H. Li, J. Sun, and X. Wang, "Understanding the effect of scanning strategies on the microstructure and crystallographic texture of Ti-6Al-4V alloy manufactured by laser powder bed fusion," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 299, p. 117366, 2022/01/01/ 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2021.117366>.

- [14] M. Strantza et al., "Effect of the scanning strategy on the formation of residual stresses in additively manufactured Ti-6Al-4V," *Additive Manufacturing*, vol. 45, p. 102003, 2021/09/01/ 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2021.102003>.
- [15] M. H. Mobarak et al., "Recent advances of additive manufacturing in implant fabrication – A review," *Applied Surface Science Advances*, vol. 18, p. 100462, 2023/12/01/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2023.100462>.
- [16] Y. Tian, D. Tomus, P. Rometsch, and X. Wu, "Influences of processing parameters on surface roughness of Hastelloy X produced by selective laser melting," *Additive Manufacturing*, vol. 13, pp. 103-112, 2017/01/01/ 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2016.10.010>.
- [17] H. Ali, H. Ghadbeigi, and K. Mumtaz, "Effect of scanning strategies on residual stress and mechanical properties of Selective Laser Melted Ti6Al4V," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 712, pp. 175-187, 2018/01/17/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2017.11.103>.
- [18] L. A. Parry, I. A. Ashcroft, and R. D. Wildman, "Geometrical effects on residual stress in selective laser melting," *Additive Manufacturing*, vol. 25, pp. 166-175, 2019/01/01/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.09.026>.
- [19] P. R. Zagade, B. P. Gautham, A. De, and T. DebRoy, "Analytical modelling of scanning strategy effect on temperature field and melt track dimensions in laser powder bed fusion," *Additive Manufacturing*, vol. 82, p. 104046, 2024/02/25/ 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2024.104046>.
- [20] R. Nandhakumar and K. Venkatesan, "A process parameters review on selective laser melting-based additive manufacturing of single and multi-material: Microstructure, physical properties, tribological, and surface roughness," *Materials Today Communications*, vol. 35, p. 105538, 2023/06/01/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.105538>.
- [21] Z. Chen, X. Wu, D. Tomus, and C. H. J. Davies, "Surface roughness of Selective Laser Melted Ti-6Al-4V alloy components," *Additive Manufacturing*, vol. 21, pp. 91-103, 2018/05/01/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.02.009>.
- [22] D. Wang, J. Lv, X. Wei, D. Lu, and C. Chen, "Study on Surface Roughness Improvement of Selective Laser Melted Ti6Al4V Alloy," *Crystals*, vol. 13, no. 2, doi: 10.3390/cryst13020306.
- [23] C. Aparicio, A. Padrós, and F.-J. Gil, "In vivo evaluation of micro-rough and bioactive titanium dental implants using histometry and pull-out tests," *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, vol. 4, no. 8, pp. 1672-1682, 2011/11/01/ 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2011.05.005>.
- [24] D. Wang et al., "Mechanisms and characteristics of spatter generation in SLM processing and its effect on the properties," *Materials & Design*, vol. 117, pp. 121-130, 2017/03/05/ 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.12.060>.
- [25] S. Yamamoto et al., "Melting and solidification behavior of Ti-6Al-4V powder during selective laser melting," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 103, no. 9, pp. 4433-4442, 2019/08/01 2019, doi: 10.1007/s00170-019-03384-z.
- [26] E. H. Valente, C. Gundlach, T. L. Christiansen, and M. A. J. Somers, "Effect of Scanning Strategy During Selective Laser Melting on Surface Topography, Porosity, and Microstructure of Additively Manufactured Ti-6Al-4V," *Applied Sciences*, vol. 9, no. 24, doi: 10.3390/app9245554.