

Pengaruh Material Elektroda terhadap Kekasaran Permukaan dan Kekerasan Implan Rahang

Yani Kurniawan^{1,2}, Nurdiana Mulyadi¹, Bambang Sulaksono

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila

Jln. Lenteng Agung Raya, Lenteng Agung, Srengseng Sawah, Jagakarsa, Jakarta Selatan, DKI Jakarta, Indonesia

²Pusat Kajian Green Product and Process, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila

Jln. Lenteng Agung Raya, Lenteng Agung, Srengseng Sawah, Jagakarsa, Jakarta Selatan, DKI Jakarta, Indonesia

yani.kurniawan@univpancasila.ac.id

Abstrak

Waktu proses yang lama dan penurunan kekerasan material merupakan permasalahan utama dalam mengembangkan implan rahang menggunakan metode *Electrical Discharge Machine (EDM) die-sinking*. Oleh karena itu, diperlukan penelitian untuk mempercepat proses dan memperkecil penurunan kekerasan material implant rahang yang dibuat menggunakan EDM *die-sinking*. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki jenis material elektroda yang tepat untuk mempercepat waktu proses dan memperkecil penurunan kekerasan material implant rahang yang dibuat menggunakan EDM *die-sinking*. Pengaruh material elektroda dalam pembuatan implant rahang juga diselidiki. Pembuatan implant rahang menggunakan jenis material elektroda tembaga, tungsten, kuningan, dan *high-speed steel (HSS)*. *Pulse current* dan *pulse on time* masing-masing menggunakan 6 A dan 22 μ s. Hasil penelitian menunjukkan kekasaran permukaan dan penurunan kekerasan material implant rahang dipengaruhi oleh konduktivitas termal material elektroda. Material elektroda terbaik dalam pembuatan implan rahang menggunakan die-sinking EDM adalah Tembaga. Waktu proses pembuatan implan rahang dengan material tembaga sekitar 7,5 jam. Kekasaran permukaan dan kekerasan implan rahang masing-masing sekitar 1,97 μ m dan 150 HV.

Kata kunci: implan rahang, EDM die-sinking, elektroda, kekasaran permukaan, kekerasan.

Abstract

Long processing time and decreased material hardness are the main problems in developing jaw implants using the EDM die-sinking method. Therefore, research is needed to speed up the process and minimize the decrease in hardness of jaw implant materials made using EDM die-sinking. This study aims to investigate the right type of electrode material to speed up the process time and minimize the decrease in hardness of jaw implant materials made using EDM die-sinking. The effect of electrode material in the manufacture of jaw implants was also investigated. The manufacture of jaw implants used copper, tungsten, brass, and high-speed steel (HSS) electrode materials. Pulse current and pulse on time used 6 A and 22 μ s, respectively. The results showed that the surface roughness and decrease in hardness of jaw implant materials were influenced by the thermal conductivity of the electrode material. The best electrode material in the manufacture of jaw implants using EDM die-sinking is copper. The manufacturing process of jaw implants with copper material was approximately 7.5 hours. The surface roughness and hardness of jaw implants were approximately 1.97 μ m and 150 HV, respectively.

Keywords: jaw implant, die-sinking EDM, electrode, surface roughness, Hardness.

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan implan rahang saat ini semakin meningkat, namun hal ini tidak diiringi oleh ketersediaan implan yang memadai serta harga yang

terjangkau. Ini ditandai dengan terbitnya Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 17 tahun 2017 tentang rencana aksi pengembangan industri farmasi dan alat kesehatan guna meningkatkan penggunaan produk farmasi dan alat

kesehatan dalam negeri. Implan rahang saat ini harganya masih relatif mahal. Ini dikarenakan ketersediaan implan implant rahang yang ada saat ini harus diimport untuk mendapatkannya. Selain itu, proses pembuatan implan rahang masih menggunakan 2 mesin yaitu EDM jenis wire-EDM dan menggunakan micro-milling. Untuk menurunkan harga implan rahang diperlukan efisiensi proses dalam pembuatan implan implant rahang. Salah satu cara untuk mengefisienkan proses pembuatan implan micro-plate adalah menggunakan satu jenis mesin yaitu EDM die-sinking.

EDM die-sinking termasuk pemesinan non-konvensional dan dapat memotong benda kerja dengan bentuk dan geometri kompleks yang sulit dipotong dengan akurasi tinggi [1][2]. EDM die-sinking memanfaatkan energi panas dari percikan api selama pelepasan listrik pada mekanisme pemotongan atau reduksi selama proses EDM yang berdampak terus menerus dan berkala pada permukaan benda kerja [3]. Beberapa hasil target dari proses EDM die-sinking meliputi MRR, EWR, DA, kekasaran permukaan (SR), lapisan putih (WL), dan kekerasan mikro [4][5][6].

Output target dari proses EDM die-sinking dipengaruhi oleh parameter proses termasuk arus pulsa (I_p), waktu pulsa aktif (Ton), waktu pulsa mati (Toff), bahan elektroda, dan fluida dielektrik. Banyak penelitian tentang pengaruh parameter proses pada output proses EDM die-sinking telah dilakukan. Priyadarshinia dan Palb telah mengoptimalkan proses EDM berbasis grey-taguchi pada paduan titanium [7]. Hasil optimasi yang diperoleh menunjukkan bahwa Pulse on time memiliki dampak yang sangat kecil pada MRR dibandingkan dengan parameter input lainnya, sedangkan itu memainkan peran yang sangat penting pada EWR. Verma dan Sahu telah mengoptimalkan parameter proses EDM die-sinking pada paduan titanium kelas V (Ti6Al4V) [8]. Hasil menunjukkan bahwa MRR meningkat dengan menurunnya Ton. Kumar et al, 2018, telah menganalisis MRR dan SR dari paduan titanium Ti-6Al-4V ELI [1]. Ditemukan bahwa SR terbesar pada nilai Ton tinggi, MRR meningkat dengan I_p sementara Ton tidak mempengaruhi secara signifikan. Deshpande dan Rao telah menyelidiki kinerja EDM pada MRR, SR, EWR dan Hv pada paduan titanium biomedis Ti-6Al-4V [9]. Hasil penyelidikan kinerja EDM ketika Ton meningkat, MRR akan menurun. Phan et al. telah mempelajari Ton dapat memengaruhi MRR dan EWR dalam EDM menggunakan elektroda berlapis [10]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa MRR dan EWR menurun secara signifikan ketika Ton meningkat. Obratański et al. telah melakukan eksperimen inspeksi pada Ti-6Al-4V ELI dengan

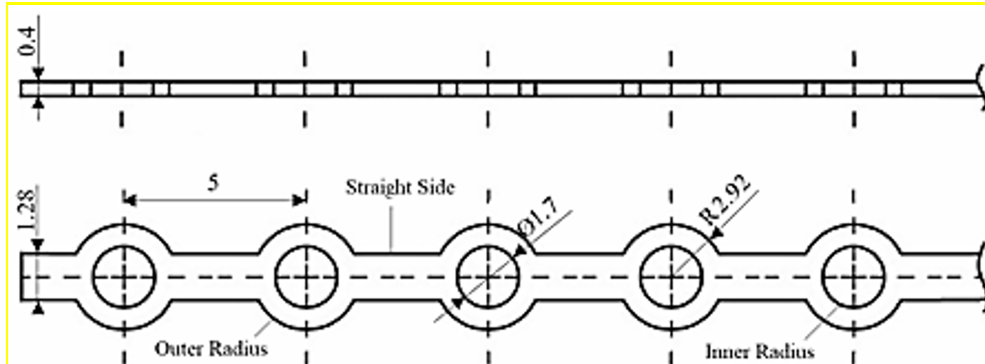
proses EDM menggunakan elektroda grafit [11]. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa Ton memiliki peran kecil dalam MRR sementara itu sangat berpengaruh dalam meningkatkan SR rata-rata. Obratański et al. telah menyelidiki secara eksperimental tentang bagaimana parameter EDM dapat memengaruhi MRR, EWR, dan SR pada Titanium Grade 2 [12]. EWR dipengaruhi oleh Ton, dengan peningkatan Ton dari $25\mu s$ menjadi $200\mu s$. pengujian dan optimasi dampak variabel pada pemesinan seperti Ton berdasarkan metode strategi Taguchi menemukan bahwa faktor yang paling penting untuk EWR dan MMR adalah Ton [13]. Phan dkk. juga melakukan eksperimen dan investigasi pada SR dalam EDM menggunakan elektroda yang dilapisi dan tidak dilapisi oleh Al dan Al-Cr-Ni [14]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa elektroda yang dilapisi dengan Al-Cr-Ni menghasilkan kualitas permukaan yang lebih baik dengan SR yang lebih rendah, retakan mikro, dan rongga daripada elektroda yang tidak dilapisi dengan Al-Cr-Ni karena konduktivitas listrik dan titik lelehnya. Parameter optimum dengan elektroda berlapis dan tak berlapis ditemukan sebagai berikut, dengan $I=10A$, $Ton=500\mu s$ dan $V_g=40V$ serta akurasi baik sebesar 4,3%.

Pembuatan implan rahang menggunakan die-sinking EDM telah dilakukan [15][16]. Namun kekerasan implan rahang yang dihasilkan mengalami penurunan di bawah raw material dan memerlukan waktu proses 8,5 jam. Peningkatan kekerasan implan rahang menggunakan heat treatment telah dilakukan oleh Fega dkk, dimana kekerasan implan rahang jenis straight plate mendekati kekerasan standar ketika menggunakan suhu quenching 960 C. Kekerasan white layer menjadi 713 VHN dan bagian dalam material sebesar 354 VHN. Suhu quenching semakin besar menyebabkan semakin besar peningkatan kekerasannya [17].

Kedua penelitian yang telah dilakukan menunjukkan waktu proses pembuatan implan rahang menjadi lebih lama. Oleh karena itu waktu proses pembuatan implan rahang menggunakan die-sinking EDM perlu di percepat. Waktu proses die-sinking EDM dipengaruhi oleh beberapa parameter diantaranya pulse current, pulse on time, dan material elektroda. Pemilihan material elektroda yang tepat dapat mempercepat waktu proses pembuatan implan rahang menggunakan die-sinking EDM. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menyelidiki pengaruh Jenis Material Elektroda terhadap MRR dan EWR dalam Pembuatan Implan Rahang Menggunakan Die-Sinking EDM. Selain itu, menyelidiki jenis material elektroda terbaik untuk manufaktur implan rahang menggunakan material titanium murni.

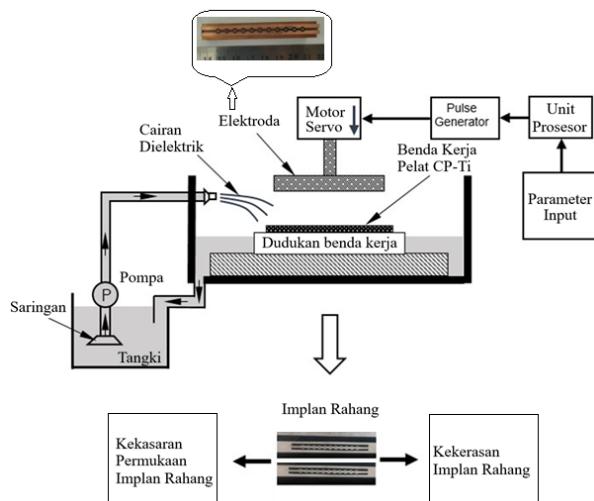
II. METODE PENELITIAN

Implan rahang terbuat dari lembaran titanium murni komersial (CP-Ti) dengan dimensi 10 x 100 x 0,6 mm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Elektroda terbuat dari berbagai bahan HSS, kuningan, tungsten, dan tembaga.



Gambar 1. Dimensi implant rahang

Mesin die-sinking EDM merek JOEMARS AZ50 digunakan dalam proses produksi implan rahang, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2. Spesifikasi untuk proses die-sinking EDM menggunakan pulse current 6A dan waktu aktif pulsa 22 μ s. Komposisi parameter yang digunakan dalam setiap percobaan dibuat menggunakan pendekatan *full factorial*. Tabel 1 menampilkan tabel percobaan *full factorial*.



Gambar 2. Ilustrasi pembuatan implan rahang dengan *Die-sinking* EDM

Tabel 1. Eksperimen *full factorial*

No. Eksperimen	Pulse Current, I_p (A)	Pulse On Time, T_{on} (μ s)	Material Elektroda
1	6	22	Tembaga
2	6	22	Kuningan
3	6	22	Tungsten Carbida
4	6	22	HSS

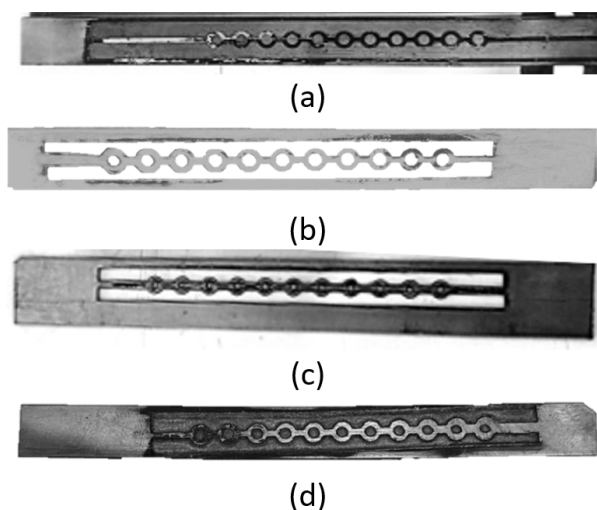
Pengukuran kekasaran permukaan implan rahang dilakukan pada permukaan potong sisi lurus (straight side). Pengukuran kekasaran permukaan menggunakan alat ukur kekasaran permukaan (Mitutoyo SJ-201, Japan) dengan Panjang langkah pergerakan stylus sejauh 600 μ m.

Pengukuran kekerasan implan rahang dimulai dengan membuat *mounting* implan rahang menggunakan resin dan dilakukan pemolesan. Langkah selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan menggunakan *vickers microhardness test*. Pengujian kekerasan menggunakan beban 100 gram dengan load times 10 s [6] [5].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Implan Rahang Hasil Proses EDM Die-sinking

Implan rahang hasil dari proses EDM die-sinking menggunakan variasi elektroda tersaji pada Gambar 3. Implan rahang yang dihasilkan menggunakan elektroda kuningan (Gambar 3.a) terlihat tidak terjadi proses pemakanan yang signifikan pada lembar CP-Ti. Hal ini disebabkan karena kuningan memiliki konduktivitas termal yang cukup tinggi sebesar 120 W/m.K, sehingga panas yang dihasilkan selama proses EDM cepat disebarkan. Ini menyebabkan penurunan efisiensi pelepasan material dan mempengaruhi akurasi proses permesinan. Hal ini dibuktikan dengan waktu proses pemakanan selama 900 menit. Elektroda kuningan cenderung menyebabkan keausan elektroda yang lebih cepat dibandingkan dengan beberapa material lainnya.



Gambar 3. Implan rahang hasil EDM die-sinking menggunakan elektroda (a) kuningan, (b) tungsten carbide, (c) Tembaga, (d) HSS

Implan rahang yang dihasilkan menggunakan elektroda tungsten carbide (Gambar 3.b) terlihat bahwa terjadi pemakanan semua pada lembaran CP-Ti. Waktu proses pemakanan selama 690 menit. Implan rahang yang dihasilkan menggunakan elektroda tembaga (Gambar 3.c) dapat dilihat bahwa produk implan rahang terjadi pemakanan yang sempurna dengan waktu pemakanan 447 menit. Pemakanan sempurna dikarenakan tembaga memiliki konduktivitas termal 391,1 W/m.K. Sehingga, arus listrik dapat mengalir dengan efisien dan terjadi pemakanan yang konsisten. Selain itu, dapat di lihat juga waktu proses pemakanan lebih cepat dibandingkan elektroda lainnya.

Implan rahang yang dihasilkan menggunakan elektroda HSS (Gambar 3.d) dapat dilihat bahwa pemakanan pada lembar CP-Ti tidak rapih, masih ada bagian material yang belum termakan, dan bagian pinggirnya termakan akibat adanya pergeseran dari jig. Proses EDM pada material menggunakan elektroda HSS tidak terjadi proses pemakanan yang signifikan pada lembar CP-Ti. Ini ditandai dengan proses pemakanan memerlukan waktu selama 4110 menit. Hal ini, disebabkan karena HSS merupakan material yang tahan aus namun bukan penghantar panas yang baik yang memiliki konduktivitas termal 24 W/m.K sehingga menyebabkan pemakanan yang tidak konsisten.

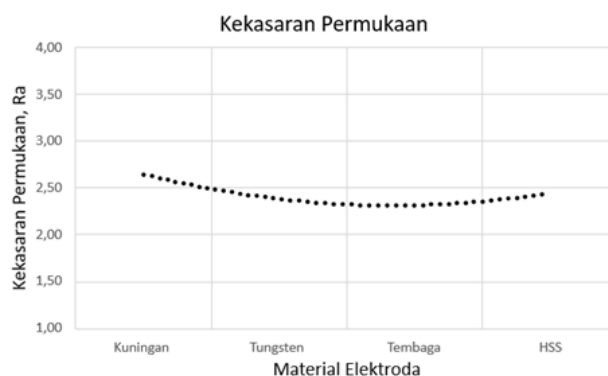
3.2. Kekasaran Implan Rahang Hasil Proses EDM Die-sinking

Hasil pengujian kekasaran permukaan implan rahang yang di hasilkan menggunakan die-sinking EDM dapat terlihat pada Tabel 2. Pengaruh material elektroda terhadap kekasaran permukaan implan rahang yang di hasilkan menggunakan die-sinking

EDM disajikan pada Gambar 4. Kekasaran permukaan terlihat berbeda dengan adanya perbedaan material elektroda. Nilai kekasaran permukaan menggunakan elektroda Kuningan sebesar 2,53 μm , menggunakan elektroda Tungsten sebesar 2,73 μm , menggunakan elektroda tembaga sebesar 1,97 μm dan menggunakan elektroda HSS sebesar 2,57 μm , dapat disimpulkan nilai terbesar di miliki oleh material tungsten dengan nilai 2,73 μm , dan material elektroda terkecil yaitu oleh material Tembaga 1,97 μm , Maka nilai terbaik untuk kekasaran permukaan yaitu menggunakan elektroda Tembaga 1,97 μm dikarenakan semakin kecil nilai yang didapatkan menandakan kekerasan yang dihasilkan semakin halus. Hal ini dikarenakan pada proses yang terjadi percikan bunga api semakin cepat, dan mengakibatkan proses lelehan yang dihasilkannya semakin sempurna [18]. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kekasaran permukaan yang di dapat pada proses pembuatan implan rahang menggunakan elektroda tembaga 1,97 μm lebih baik dari pada penelitian sebelumnya yang mana pada penelitian sebelumnya ketika menggunakan elektroda tembaga dan *graphite* yaitu sebesar 5,28 μm [16].

Tabel 2. Hasil pengujian kekasaran implan rahang

Pengujian Ra (μm) ke-	Material			
	Kuningan	Tungsten	Tembaga	HSS
1	2,21	3,18	2,55	2,72
2	2,90	2,59	1,67	2,47
3	2,49	2,43	1,69	2,51
Rata - rata	2,53	2,73	1,97	2,57

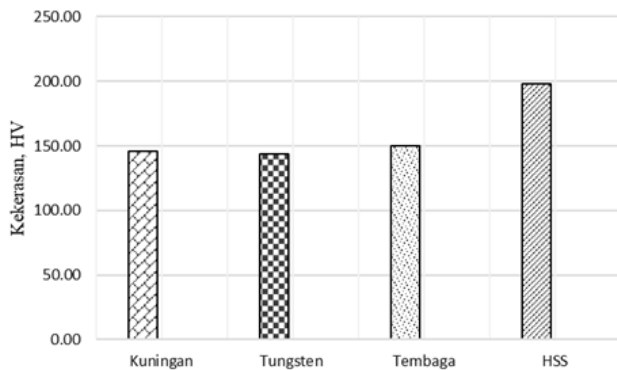


Gambar 4. Kekasaran Implan rahang dengan perbedaan material elektroda

3.3. Kekerasan Implan Rahang Hasil Proses EDM Die-sinking

Hasil pengujian kekerasan permukaan implan rahang yang di hasilkan menggunakan die-sinking EDM disajikan pada Gambar 5. Nilai rata-rata kekerasan rata-rata implan rahang terlihat berbeda-

beda. Kekerasan rata-rata implan rahang terendah ketika menggunakan material elektroda tungsten yaitu sebesar 144 HV. Kekerasan rata-rata implan rahang tertinggi ketika menggunakan material elektroda HSS yaitu sebesar 198 HV. Kekerasan rata-rata implan rahang ketika menggunakan material elektroda tembaga sebesar 150 HV. Kekerasan ini, lebih rendah dibandingkan ketika menggunakan material elektroda HSS. Namun, kekerasan rata-rata implan rahang ketika menggunakan material elektroda tembaga lebih tinggi dibandingkan ketika menggunakan material kuningan.



Gambar 5. Rata - Rata Uji Kekerasan Implan Rahang

Hasil pengujian kekerasan terlihat material elektroda HSS memiliki nilai pengujian kekerasan terbaik, tetapi hasil dari proses pemakanan material tidak selesai seperti terlihat pada Gambar 3(d). Selain itu, material CP-Ti cenderung tidak termakan. Oleh karena itu, material elektroda tembaga dapat disimpulkan sebagai material elektroda terbaik dalam membuat implan rahang dibandingkan material elektroda HSS, kuningan, dan tungsten. Hal ini dikarenakan tembaga memiliki sifat-sifat material yang unik seperti memiliki ketahanan aus, stabilitas dimensi dan kemudahan pembentukan elektroda pada proses permesinanya. Hasil penelitian ini memiliki nilai kekerasan rata-rata implan rahang yang lebih tinggi dari penelitian sebelumnya ketika menggunakan elektroda tembaga yaitu 142 HV [19].

IV. KESIMPULAN

Pembuatan implan rahang menggunakan variasi material elektroda dapat disimpulkan bahwa jenis material elektroda dapat mempengaruhi waktu proses, kekasaran permukaan, dan penurunan kekerasan implant rahang karena adanya perbedaan konduktivitas termal material elektroda. Semakin besar konduktivitas termal material elektroda, waktu proses pembuatan implant semakin cepat, dan nilai kekasaran permukaan semakin kecil. Konduktivitas termal material elektroda memiliki pengaruh yang fluktuatif terhadap penurunan kekerasan implant

rahang. Material elektroda terbaik dalam pembuatan implan rahang menggunakan die-sinking EDM adalah Tembaga. Waktu proses pembuatan implan rahang dengan material tembaga sekitar 7,5 jam. Kekasaran permukaan dan kekerasan implan rahang masing-masing sekitar 1,97 μm dan 150 HV.

UCAPAN TERIMA KASIH

Laboratorium Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila.

REFERENSI

- [1] R. Kumar, S. Roy, P. Gunjan, A. Sahoo, D. D. Sarkar, and R. K. Das, "Analysis of MRR and surface roughness in machining Ti-6Al-4V ELI titanium alloy using EDM process," *Procedia Manuf.*, vol. 20, pp. 358–364, 2018.
- [2] J. E. Abu Qudeiri, A.-H. I. Mourad, A. Ziout, M. H. Abidi, and A. Elkaseer, "Electric discharge machining of titanium and its alloys," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 96, no. 1, pp. 1319–1339, 2018.
- [3] P.-N. Huu, "Multi-objective optimization in titanium powder mixed electrical discharge machining process parameters for die steels," *Alexandria Eng. J.*, vol. 59, no. 6, pp. 4063–4079, 2020.
- [4] M. Bhaumik and K. Maity, "Effect of different tool materials during EDM performance of titanium grade 6 alloy," *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 21, no. 3, pp. 507–516, 2018.
- [5] M. R. Singh, P. K. Shrivastava, and P. Singh, "Optimization of EDM process of titanium alloy using EPSDE technique," *Multiscale Multidiscip. Model. Exp. Des.*, vol. 4, no. 2, pp. 121–130, 2021.
- [6] M. Gangil and M. K. Pradhan, "Optimization the machining parameters by using VIKOR Method during EDM process of Titanium alloy," *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 2, pp. 7486–7495, 2018.
- [7] M. Priyadarshini and K. Pal, "Grey-Taguchi based optimization of EDM process for titanium alloy," *Mater. Today Proc.*, vol. 2, no. 4–5, pp. 2472–2481, 2015.
- [8] V. Verma and R. Sahu, "Process parameter optimization of die-sinking EDM on Titanium grade-V alloy (Ti6Al4V) using full factorial design approach," *Mater. today Proc.*, vol. 4, no. 2, pp. 1893–1899, 2017.
- [9] A. Donlevy *et al.*, "International Titanium Association," pp. 1–6, 2005.
- [10] N. H. Phan *et al.*, "Multi-criteria decision making in electrical discharge machining with

nickel coated aluminium electrode for titanium alloy using preferential selection index,” *Manuf. Rev.*, vol. 9, p. 13, 2022.

- [11] P. Karmiris-Obratański, E. L. Papazoglou, B. Leszczyńska-Madej, K. Zagórski, and A. P. Markopoulos, “Surface and subsurface quality of titanium grade 23 machined by electro discharge machining,” *Materials (Basel)*, vol. 15, no. 1, p. 164, 2021.
- [12] P. Karmiris-Obratański, K. Zagórski, E. L. Papazoglou, and A. P. Markopoulos, “Surface texture and integrity of electrical discharged machined titanium alloy,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 115, no. 3, pp. 733–747, 2021.
- [13] A. Perumal, C. Kailasanathan, B. Stalin, P. R. Rajkumar, T. Gangadharan, and G. Venkatesan, “Evaluation of EDM process parameters on titanium alloy through Taguchi approach,” *Mater. Today Proc.*, vol. 45, pp. 2394–2400, 2021.
- [14] N. H. Phan *et al.*, “Experimental investigation of uncoated electrode and PVD AlCrNi coating on surface roughness in electrical discharge machining of Ti-6Al-4V,” 2021.
- [15] Y. Kurniawan, “Pengaruh material elektroda grafit dan tembaga terhadap material removal rate (mrr), electrode wear rate (ewr) dan kekerasan dalam pembuatan implan rahang menggunakan discharge edm,” *AME (Aplikasi Mek. Dan Energi) J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 2, pp. 104–109, 2022.
- [16] Y. Kurniawan, D. L. Zariatun, P. S. Pangarsono, B. Cahyadi, and B. Sulaksono, “Dimensional Accuracy, Surface Roughness and Hardness Properties for Microplate Implants Manufacturing by EDM Die-Sinking Process,” *Int. J. Automot. Mech. Eng.*, vol. 20, no. 3, pp. 10606–10617, 2023.
- [17] M. F. R. Suharyanto and Y. Kurniawan, “Effect of Heat Treatment Temperature on Hardness of Jaw Implant Produced from EDM Die-Sinking Process,” *J. Asimetrik J. Ilm. Rekayasa Inov.*, pp. 113–120, 2024.
- [18] F. Klocke, S. Schneider, L. Ehle, H. Meyer, L. Hensgen, and A. Klink, “Investigations on surface integrity of heat treated 42CrMo4 (AISI 4140) processed by sinking EDM,” *Procedia CIRP*, vol. 42, pp. 580–585, 2016.
- [19] Y. Kurniawan, D. Ariyatmoko, S. Murdiwati Putri, and I. Ismail, “Optimization of pulse on time to improve quality of microplate implants produced by EDM die-sinking,” *J. Brazilian Soc. Mech. Sci. Eng.*, vol. 46, no. 8, p. 507, 2024.