

## Pengaruh Material Elektroda Grafit dan Tembaga terhadap Material Removal Rate (MRR), *Electrode Wear Rate* (EWR) dan Kekerasan dalam Pembuatan Implan Rahang Menggunakan *Die-sinking* EDM

Yani Kurniawan<sup>1\*</sup>, Syaqui Fardhu Tiyastianto<sup>1</sup>, Alif Rivansyah<sup>1</sup>, Praktik Suko Pangarsono<sup>2</sup>, Hendri Sukma<sup>1</sup>,  
Bambang Sulaksono<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jakarta

<sup>2</sup>Program Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jakarta

### ABSTRAK

Implan rahang jenis straight plate memiliki tingkat kebutuhan yang tinggi di Indonesia. Saat ini proses pembuatan implan rahang menggunakan dua proses pemesinan, yaitu *Electrical Discharge Machining* jenis *wire* (*wire-EDM*) dan *micro-milling*. Dalam penelitian ini pembuatan implan rahang menggunakan satu proses pemesinan yaitu EDM jenis *die-sinking* (*die-sinking* EDM). Tujuan utama penelitian ini adalah menyelidiki pengaruh jenis material elektroda yaitu grafit dan tembaga terhadap *Material Removal Rate* (MRR) dan *Electrode Wear Rate* (EWR) dalam pembuatan implan rahang menggunakan proses *die-sinking* EDM. Proses *die-sinking* EDM menggunakan *pulse current* sebesar 9A dan sebagai material implan digunakan lembaran *pure titanium grade 1*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan material elektroda grafit meningkatkan nilai MRR sebesar 76,92% dan menurunkan 50,48% nilai EWR dibandingkan penggunaan elektroda tembaga. Namun, penggunaan material elektroda grafit menyebabkan nilai kekerasan implan yang lebih lunak dibandingkan penggunaan material elektroda tembaga. Hasil ini menunjukkan bahwa *die-sinking* EDM dapat dijadikan alternatif proses untuk pembuatan implan rahang jenis *straight plate*.

**Kata kunci :** *die-sinking* EDM; EDM; EWR; Implan Rahang; Kekerasan; MRR

### ABSTRACT

*Straight plate jaw implants have a high level of demand in Indonesia. Currently, making jaw implants uses two machining processes: Electrical Discharge Machining (wire-EDM) and micro-milling. In this study, the manufacture of jaw implants used one machining process, namely the die-sinking EDM. The main objective of this study was to investigate the effect of graphite and copper electrode materials on the Material Removal Rate (MRR) and Electrode Wear Rate (EWR) in the manufacture of jaw implants using the die-sinking EDM. The EDM process used a pulse current of 9A and a pure titanium grade 1 sheet as implant material. The results showed that graphite electrode material enhanced the MRR values by 76.92% and suppressed 50.48% of the EWR compared to the copper electrode material. However, the use of graphite electrode material caused a softer implant hardness value than the copper electrode material. These results indicated that EDM die-sinking could be an alternative process for making straight plate type jaw implants.*

**Keywords :** *die-sinking* EDM; EDM; EWR; Hardness; Jaw Implant; MRR.

### PENDAHULUAN

Implan adalah suatu peralatan medis yang dibuat untuk menggantikan struktur dan fungsi suatu bagian biologis (Yoshida, et al. 2014). Implan berguna untuk menopang agar mempercepat proses penyembuhan,

memicu pembentukan jaringan, dan untuk mendapatkan bentuk asli dari berbagai tulang. Jenis-jenis implan yang banyak digunakan diantaranya implan kaki, tangan, dan mulut (rahang). Salah satu implan rahang yang banyak digunakan adalah implan

\* Penulis korespondensi

Email: [yani.kurniawan@univpancasila.ac.id](mailto:yani.kurniawan@univpancasila.ac.id)

Diterima 23 Juli 2022; Disetujui 28 Juli 2022

AME (Aplikasi Mekanika dan Energi): Jurnal Ilmiah Teknik Mesin 2022

rahang jenis straight plate. Implan rahang jenis straight plate rahang ini digunakan untuk menyambung tulang rahang yang retak atau patah, atau bisa juga digunakan untuk kecantikan.

Implan rahang jenis *straight plate* yang ada dipasaran umumnya terbuat dari material titanium murni atau titanium *alloy* (Oshida, T.-B. and M. 2013). Jenis material ini banyak digunakan karena paduannya memiliki banyak sifat yang menarik, termasuk kekuatan spesifik yang tinggi, ketahanan korosi yang sangat baik dan sifat kriogenik. Hasil pengamatan sisi potong pada implan rahang jenis straight plate yang ada memperlihatkan proses pembuatannya menggunakan *wire-EDM* dan *micro-milling*. Proses pembuatan implan rahang jenis *straight plate* yang ada terlihat kurang efektif karena proses pembuatannya menggunakan 2 mesin yang berbeda. Padahal jika dilihat dari bentuk implan rahang jenis *straight plate* ini maka dapat menggunakan satu jenis mesin yaitu *die-sinking EDM*. *Die-sinking EDM* memiliki kelebihan dibandingkan *micro-milling*, diantaranya: akurasi produk yang lebih baik dan tingkat keausan pahat yang lebih rendah. Sedangkan kelebihan *die-sinking EDM* dibandingkan *wire-EDM* adalah dapat membuat produk dengan bentuk kompleks yang lebih cepat dan dapat membuat lubang tidak tembus.

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan terlihat pengaruh parameter telah dilakukan pada material paduan titanium (Perumal, et al. 2019) dan titanium murni (Rouniyar and Shandilya 2018) Pada material titanium murni penelitian dilakuakn dengan bentuk benda kerjanya berbentuk silinder dan menggunakan satu jenis material elektroda (B. H. Yan 2005). Sehingga untuk menentukan parameter proses yang optimum dalam pembuatan implan rahang jenis *straight plate* sulit dilakukan. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk menentukan parameter proses khususnya jenis material elektroda yang tepat untuk membuat implan rahang jenis straight plate.

## METODE PENELITIAN

Material yang digunakan adalah titanium murni dengan ketebalan 0,4 mm, sedangkan untuk material elektroda menggunakan grafit dan tembaga. Proses EDM menggunakan mesin *die-sinking EDM* dengan tipe JOEMARS AZ50. Arus yang digunakan adalah 9A.

Setelah melakukan proses EDM dilakukan analisis dan pengujian. Analisis berupa pengaruh material elektroda terhadap MRR, EWR, dan ditambah pengujian kekerasan untuk mendapatkan

nilai kekerasan implan rahang yang dihasilkan. MMR dihitung menggunakan persamaan 1 [10].  $W_{st}$  adalah berat benda kerja sebelum proses pemesinan (gram).  $W_{fin}$  adalah berat benda kerja sesudah proses pemesinan (gram).  $t$  adalah waktu pemesinan (menit).  $\rho_w$  adalah massa jenis benda kerja (gram/mm<sup>3</sup>). EWR dihitung menggunakan persamaan 2 [10].  $El_{st}$  adalah berat elektroda sebelum proses pemesinan (gram).  $El_{fin}$  adalah berat elektroda sesudah proses pemesinan (gram). Berat benda kerja sebelum dan sesudah proses pemesinan diukur menggunakan *digital mini scale* 20gram/0.001gram (TN-series, China), sedangkan berat elektroda sebelum dan sesudah proses pemesinan diukur menggunakan timbangan NANKAI 10000gram/1gram (SF 400, China).

$$MRR = \frac{W_{st} - W_{fin}}{t} \times \frac{1}{\rho_w} \quad (1)$$

$$EWR = \frac{El_{st} - El_{fin}}{W_{st} - W_{fin}} \quad (2)$$

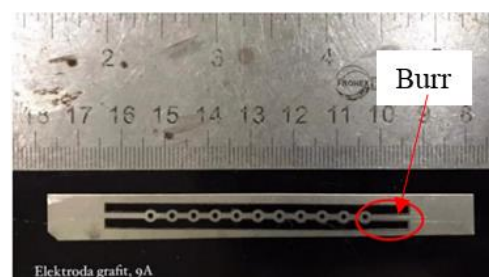
Pengujian kekerasan dilakukan dengan jarak 50 $\mu$ m dengan 10 titik uji dan dengan beban 100 gf. Pengujian kekrasan menggunakan mesin microhardness tester (FM-310). Bagian pengujian kekerasan dilakukan di sisi lurus, sisi radius luar dan sisi radius dalam seperti terlihat pada Gambar 1.



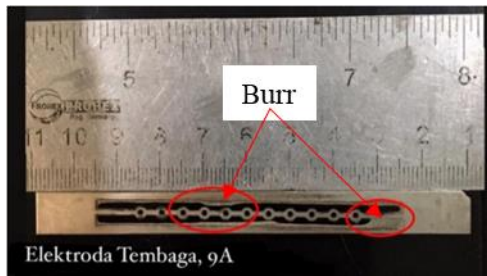
Gambar 1. Bagian pengujian kekerasan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil proses EDM pada proses pembuatan implan rahang jenis stairght plate dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Implan rahang hasil proses EDM menggunakan elektroda grafit

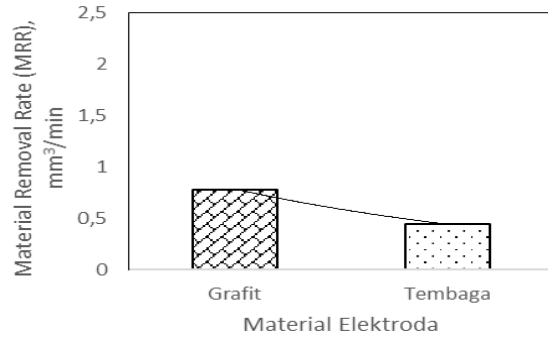


Gambar 3. Implan rahang hasil proses EDM menggunakan elektroda tembaga

Gambar 2 memperlihatkan implan rahang hasil proses EDM menggunakan elektroda grafit dengan pulse current 9A. Dari gambar dapat terlihat bahwa produk implant sudah jadi, akan tetapi masih terdapat burr disekitar permukaan hasil potong proses EDM, itu diakibatkan karena gram atau debris hasil proses EDM tidak terbuang (mengendap).

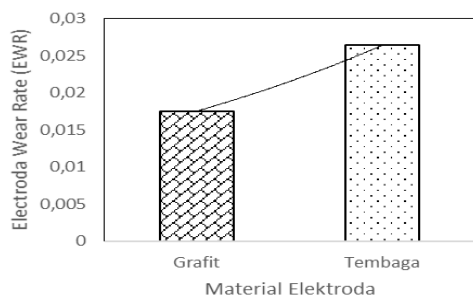
Gambar 3 memperlihatkan implan rahang hasil proses EDM menggunakan elektroda tembaga dengan pulse current 9A. Gambar terlihat bahwa produk implant sudah jadi, akan tetapi masih terdapat beberapa bagian yang belum terpotong disekitar permukaan hasil potong proses EDM. Hal ini disebabkan karena benda kerja melenting.

Pengaruh material elektroda terhadap MRR pada proses EDM dalam pembuatan implan rahang tersaji pada Gambar 4. Hasil perhitungan memperlihatkan bahwa material elektroda memiliki pengaruh terhadap MRR. Ketika menggunakan material elektroda grafit dengan pulse current 9A, MRR meningkat 76,92% dibandingkan dengan menggunakan material elektroda tembaga dengan pulse current yang sama. Ini dapat disimpulkan bahwa perbedaan jenis material elektroda dapat meningkatkan MRR. Nilai MRR menggunakan material elektroda grafit lebih besar dibandingkan dengan material elektroda tembaga. Perbedaan ini dikarenakan material grafit memiliki sifat kelistrikan yang lebih baik dibandingkan material tembaga [11], [12], dimana sifat kelistrikan pada grafit sebesar 8000  $\mu\Omega$  cm dan sifat kelistrikan pada tembaga sebesar 1,7  $\mu\Omega$  cm. Hasil penelitian ini memiliki tren yang sama dengan penelitian sebelumnya [13].



Gambar 4. Grafik Hubungan Material Elektroda Terhadap MRR

Hasil perhitungan EWR pada proses EDM dalam pembuatan implan rahang tersaji pada Gambar 5. Hasil perhitungan memperlihatkan bahwa material elektroda memiliki pengaruh terhadap EWR. Ketika menggunakan material elektroda tembaga dengan pulse current 9A, EWR meningkat 50,48% dibandingkan dengan menggunakan material elektroda grafit dengan pulse current yang sama. Ini dapat disimpulkan bahwa jenis material elektroda grafit memiliki ketahanan aus yang lebih baik dibandingkan dengan jenis material elektroda tembaga. Hal ini disebabkan karena material grafit memiliki titik leleh yang tinggi dibandingkan material tembaga dimana titik leleh pada material grafit sebesar 3650 °C dan titik leleh pada material tembaga sebesar 1083 °C [12]. Percikan bunga api yang dihasilkan pada proses EDM pada umumnya sebesar 8000°C-12000°C [14]. Akan tetapi elektroda pada proses EDM dialiri cairan dielektrik yang berfungsi juga sebagai pendingin, maka keausan elektroda yang terjadi tergantung dari kemampuan elektroda menyerap cairan dielektrik dan titik leleh material. Dalam hal ini material grafit mampu menyerap cairan dielektrik yang lebih baik dibandingkan material tembaga [15], serta titik leleh material grafit lebih besar dibandingkan titik leleh material tembaga. Alasan inilah yang menyebabkan material grafit memiliki ketahanan aus yang lebih baik dibandingkan dengan material tembaga.



Gambar 5. Grafik Hubungan Material Elektroda Terhadap EWR

Hasil pengujian kekerasan implan pada permukaan lingkaran luar, dalam dan sisi lurus ketika menggunakan elektroda grafit terlihat pada Tabel 1-3, sedangkan ketika menggunakan elektroda tembaga terlihat pada Table 4-6. Hasil pengujian kekerasan memperlihatkan bahwa nilai rata-rata HV ketika menggunakan elektroda tembaga lebih besar dibandingkan menggunakan elektroda grafit pada permukaan lingkaran luar, dalam dan sisi lurus. Kekerasan pada permukaan sisi lurus lebih besar dibandingkan permukaan dalam, namun lebih kecil dibandingkan permukaan luar. Trend ini terjadi ketika menggunakan elektroda tembaga dan grafit.

Tabel 1. Uji kekerasan hasil proses EDM permukaan lingkaran luar elektroda grafit.

No	d1	d2	HV
1	36,56	35,89	141,30
2	36,85	34,45	145,90
3	38,56	36,49	131,70
4	37,09	35,51	140,70
5	38,32	35,56	135,90
6	36,66	36,05	140,30
7	36,66	36,05	140,30
8	37,24	37,70	127,80
9	37,58	38,07	129,60
10	38,95	36,46	130,40
Rata-rata HV			136,09

Tabel 2. Uji kekerasan hasil proses EDM permukaan lingkaran dalam elektroda grafit.

No	d1	d2	HV
1	37,32	36,00	138,00
2	38,08	38,29	127,20
3	37,98	35,47	137,50
4	37,53	36,37	135,80
5	37,21	37,43	133,20
6	37,61	37,32	132,10
7	38,27	37,36	129,70
8	40,32	39,38	116,80
9	39,23	37,92	124,60
10	37,96	34,30	142,10
Rata-rata HV			131,70

Tabel 3. Uji kekerasan hasil proses EDM permukaan sisi lurus elektroda grafit.

No	d1	d2	HV
1	37,70	35,93	136,80
2	38,05	36,81	132,40
3	39,37	38,50	122,30
4	37,02	36,27	138,10
5	37,58	36,86	133,90
6	38,03	34,25	142,00
7	36,36	35,44	143,90
8	37,28	37,43	132,90
9	39,88	39,76	117,00
10	38,67	37,11	129,20
Rata-rata HV			132,85

Tabel 4. Uji kekerasan hasil proses EDM permukaan lingkaran luar elektroda tembaga.

No	d1	d2	HV
1	34,71	32,30	165,20
2	37,87	35,43	138,10
3	38,46	35,37	136,10
4	39,51	34,27	136,30
5	37,66	33,89	144,90
6	37,95	35,19	138,70
7	37,17	34,85	143,00
8	39,16	34,86	135,40
9	38,64	33,70	141,80
10	40,48	35,47	128,60
Rata-rata HV			140,81

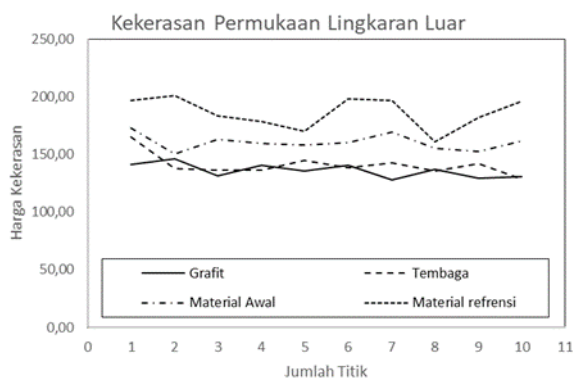
Tabel 5. Uji kekerasan hasil proses EDM permukaan lingkaran dalam elektroda tembaga.

No	d1	d2	HV
1	38,35	36,10	133,80
2	39,15	35,61	132,70
3	42,89	35,22	121,60
4	41,79	36,09	122,30
5	40,48	33,87	134,20
6	41,21	34,22	130,40
7	39,14	32,66	143,90
8	40,22	33,04	138,20
9	39,57	33,94	137,30
10	39,04	32,33	145,60
Rata-rata HV			134,00

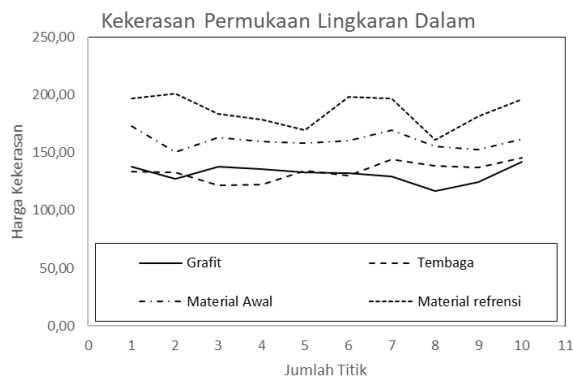
Tabel 6. Uji kekerasan hasil proses EDM permukaan sisi lurus elektroda tembaga

No	d1	d2	HV
1	38,50	37,06	129,90
2	38,23	35,19	137,60
3	37,69	32,89	148,90
4	38,81	34,69	137,30
5	37,71	35,78	137,40
6	39,08	35,84	132,20
7	40,30	33,49	136,20
8	37,26	34,38	144,50
9	36,11	32,45	157,80
10	36,85	35,15	143,10
Rata-rata HV			140,49

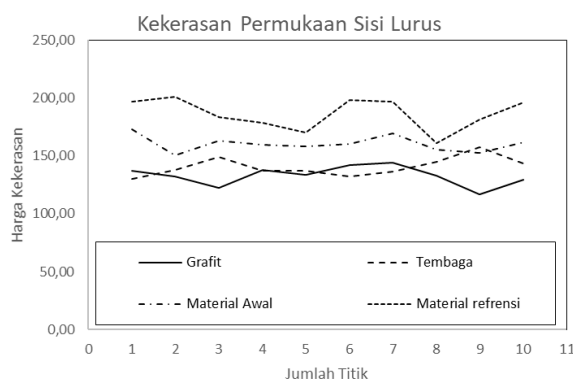
Pengaruh material elektroda terhadap kekerasan permukaan pada permukaan lingkaran luar, dalam, dan sisi lurus dapat dilihat pada Gambar 6-8. Gambar terlihat bahwa proses EDM dapat menurunkan kekerasan material. Pada permukaan lingkaran luar kekerasan menurun 17,8% dan 14,3% dibandingkan dengan material awal pada jenis material elektroda grafit dan tembaga. Pada permukaan lingkaran dalam kekerasan menurun 21,02% dan 19,33% dibandingkan dengan material awal pada jenis material elektroda grafit dan tembaga. Pada permukaan sisi lurus kekerasan menurun 20,18% dan 14,57% dibandingkan dengan material awal pada material elektroda grafit dan tembaga.



Gambar 6. Grafik hubungan material elektroda terhadap kekerasan permukaan lingkaran luar



Gambar 7. Grafik hubungan material elektroda terhadap kekerasan permukaan lingkaran dalam



Gambar 8. Grafik hubungan material elektroda terhadap kekerasan permukaan sisi lurus

**KESIMPULAN DAN SARAN**

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa jenis material elektroda dapat mempengaruhi besarnya MRR yang dihasilkan, EWR yang terjadi dan kekerasan material uji. MRR yang dihasilkan ketika menggunakan material elektroda grafit lebih besar dibandingkan dengan material tembaga. Namun, tembaga memiliki nilai EWR yang lebih besar dibandingkan grafit. Penurunan kekerasan yang terjadi akibat proses EDM lebih besar ketika menggunakan material elektroda grafit dibandingkan dengan tembaga.

**REFERENSI**

Y. Yoshida, K. Kuroda, R. Ichino, N. Hayashi, N. Ogihara, and Y. Nonaka, "Development of Bioactivity and Pull-out Torque Control Technology on Ti Implant Surface and its Application for Cold Thread Rolled Bone Screw," *Procedia Eng.*, vol. 81, pp. 340–345, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.003>.

- Y. Oshida, "2 - Materials Classification," Y. B. T.-B. and B. of T. M. (Second E. Oshida, Ed. Oxford: Elsevier, 2013, pp. 9–34.
- A. Perumal, A. Azhagurajan, S. Baskaran, R. Prithivirajan, and P. Narayansamy, "Statistical evaluation and performance analysis of electrical discharge machining (EDM) characteristics of hard Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo alloy," *Mater. Res. Express*, vol. 6, no. 5, p. 56552, 2019, doi: 10.1088/2053-1591/ab06da.
- B. Koteswararao, K. Siva Kishore Babu, D. Ravi, K. K. Kumar, and P. Chandra Shekar, "Investigation of Machining Parameter in EDM of High Carbon Steel Alloy (EN31)," *Mater. Today Proc.*, vol. 4, no. 2, pp. 1375–1384, 2017, doi: 10.1016/j.matpr.2017.01.159.
- S. Chandramouli and K. Eswaraiah, "Optimization of EDM Process parameters in Machining of 17-4 PH Steel using Taguchi Method," *Mater. Today Proc.*, vol. 4, no. 2, pp. 2040–2047, 2017, doi: 10.1016/j.matpr.2017.02.049.
- S. F. Hsieh, M. H. Lin, S. L. Chen, S. F. Ou, T. S. Huang, and X. Q. Zhou, "Surface modification and machining of TiNi/TiNb-based alloys by electrical discharge machining," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 86, no. 5–8, pp. 1475–1485, 2016, doi: 10.1007/s00170-015-8257-x.
- A. K. Rouniyar and P. Shandilya, "Multi-Objective Optimization using Taguchi and Grey Relational Analysis on Machining of Ti-6Al-4V Alloy by Powder Mixed EDM Process," *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 11, pp. 23779–23788, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2018.10.169.
- B. H. Yan, H. C. Tsai, and F. Y. Huang, "The effect in EDM of a dielectric of a urea solution in water on modifying the surface of titanium," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 45, no. 2, pp. 194–200, 2005, doi: 10.1016/j.ijmachtools.2004.07.006.
- V. K. Meena, M. S. Azad, S. Singh, and N. Singh, "Micro-EDM multiple parameter optimization for Cp titanium," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 89, no. 1–4, pp. 897–904, 2017, doi: 10.1007/s00170-016-9130-2.
- P. Karmiris-Obratański, E. L. Papazoglou, B. Leszczyńska-Madej, K. Zagórski, and A. P. Markopoulos, "A comprehensive study on processing ti-6al-4v eli with high power edm," *Materials (Basel)*, vol. 14, no. 2, pp. 1–17, 2021, doi: 10.3390/ma14020303.
- S. Suresh, M. A. Jamil, S. Sulaiman, and M. R. M. Shokor, "Optimization of electrode material for EDM die-sinking of titanium alloy grade 5 - Ti6Al4V," *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 6, no. 4, pp. 534–539, 2016, doi: 10.18517/ijaseit.6.4.902.
- T. Czelusniak *et al.*, "Materials used for sinking EDM electrodes: a review," *J. Brazilian Soc. Mech. Sci. Eng.*, vol. 41, no. 1, p. 14, 2018, doi: 10.1007/s40430-018-1520-y.
- K. Kant, P. Tyagi, U. P. Gupta, and S. S. Kumar, "Study of the effect of machining parameters and Analysis of the wear characteristics of an EDM by ANOVA's Techniques," *Int. J. Sci. Res. Sci. Eng. Technol.*, vol. 2, pp. 186–195, 2016.
- R. M. Bisono, "Optimasi Multi Respon Pada Proses Electrical Discharge Machining (EDM) Sinking Material Baja Perkakas Dac Dengan Menggunakan Metode Taguchi-Grey-Fuzzy," p. 157, 2015, [Online]. Available: <http://repository.its.ac.id/51819/>.
- S. Abdulkareem, A. Ali Khan, and M. Konneh, "Cooling effect on electrode and process parameters in EDM," *Mater. Manuf. Process.*, vol. 25, no. 6, pp. 462–466, 2010, doi: 10.1080/15394450902996619.