



## Pengaruh *pulse current* terhadap kekuatan bending implan *micro-plate* hasil dari proses EDM *die-sinking*

Y. Kurniawan\*, J. Janua, B. Sulaksono

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jl. Srengseng Sawah, Srengseng Sawah, Jagakarsa, Jakarta Selatan, DKI Jakarta. HP. 085891616141

\*E-mail: [yani.kurniawan@univpancasila.ac.id](mailto:yani.kurniawan@univpancasila.ac.id)

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received 12 February 2023

Accepted 04 April 2023

Available online 01 April 2023

#### Keywords:

*Pulse current*

*Electrical discharge machining*

*Bending strength*

*Implant micro-plate*



### ABSTRACT

*Micro-plate implants are jaw implants in the form of straight plates. The need for micro-plate implants in Indonesia is quite high. Current micro-plate implants are fabricated using two machining processes, namely Wire Electrical Discharge Machining (wire-EDM) and micro-milling. These two processes are one of the reasons why the price of micro-plate implants in the market is expensive. One way to lower the price of implants is to shorten the implant manufacturing process. This research develops a process for manufacturing micro-plate implants using the EDM die-sinking process. The main objective of this study was to investigate the effect of pulse current on the bending strength of micro-plate implants resulting from the EDM die-sinking process. The micro-plate implant material uses commercially pure titanium (CP-Ti) with a thickness of 400  $\mu\text{m}$ . The implant manufacturing process uses a pulse current of 6, 9 and 13 A. The electrode material uses graphite. The results showed that the bending strength of micro-plate implants increased with an increase in pulse current. In addition, the increase in pulse current also causes the micro-plate implant to become soft. This is indicated by the elongation value of the micro-plate implant which increases as the pulse current increases.*

*Dinamika Teknik Mesin, Vol. 13, No. 1, April 2023, p. ISSN: 2088-088X, e. ISSN: 2502-1729*

### 1. PENDAHULUAN

*Electro discharge machining* (EDM) tergolong dalam proses pemesinan non-konvensional (Groover, 2016). EDM memiliki teknologi yang maju dan tingkat kepresisian yang tinggi (Perumal dkk., 2019). Proses EDM terdapat dua jenis proses yaitu die-sinking EDM dan Wire-cutting EDM (Manjaiah dkk., 2014). EDM pada dasarnya melakukan proses pemotongan material menggunakan erosi yang disertai pelepasan listrik yang terjadi antara elektroda dan benda kerja, dimana keduanya terendam dalam cairan dielektrik (Kumar dkk., 2018). Proses ini banyak digunakan dalam pembuatan cetakan, komponen otomotif, dan implan. Beberapa implan yang dibuat menggunakan EDM seperti stent kardiovaskular (Pujiyulianto dan Suyitno, 2021) dan implan rahang (Kurniawan dkk., 2022).

Implan rahang jenis micro-plate yang ada dipasaran terbuat dari berbagai jenis material seperti pure titanium dan titanium alloy (Oshida, 2013). Selain itu, implan yang ada jika dilihat dari sisi pemotongannya memperlihatkan bahwa bahwa proses pembuatannya menggunakan *wire electrical discharge machining* (*wire-*

EDM) dan *micro-milling*. Kedua proses ini juga merupakan faktor penyebab harga implan *micro-plate* menjadi mahal. Oleh karena itu, diperlukan efisiensi proses dalam pembuatan implan *micro-plate* guna menurunkan harga implan *micro-plate*. Salah satu cara untuk mengefisienkan proses pembuatan implan *micro-plate* adalah menggunakan satu jenis mesin yaitu EDM jenis *die-sinking*.

Pembuatan implan *micro-plate* menggunakan die-sinking EDM tidaklah mudah dilakukan. Hal ini dikarenakan hasil sisi potong dari proses *die-sinking* EDM dipengaruhi beberapa parameter proses diantaranya *pulse current* (Pujiyulianto dan Suyitno, 2021), *dielectric fluid*, dan material elektroda (Czelusniak dkk., 2018; Kurniawan dkk., 2022). Banyak peneliti yang telah menyelidiki pengaruh parameter proses terhadap kualitas sisi potong pada berbagai material seperti baja (Abu Qudeiri dkk., 2018; Antar dkk., 2018; Singh dkk., 2018; Buschaiah dkk., 2018; Huu Phan dan Muthuramalingam, 2021; Muthuramalingam dan Phan, 2021; Nguyen dkk., 2020; Huu. Phan dkk., 2021; Pujiyulianto dan Suyitno, 2021), titanium *alloy* (Gugulothu, 2020; Huu-Phan dkk., 2019; Huu dkk., 2022; Karmiris-Obratański dkk., 2021; Kumar dkk., 2018; Perumal dkk., 2019; Perumal dkk., 2021; N. H. Phan dkk., 2021; Phan Nguyen dkk., 2022; Nguyen Huu Phan dkk., 2021; Rouniyar dan Shandilya, 2018; Taherkhani dkk., 2021; Bhui dkk., 2018), dan *pure titanium* (Kumar dkk., 2018; Kurniawan dkk., 2022). Meskipun penelitian *die-sinking* EDM telah dilakukan pada *pure titanium*, pemilihan parameter proses *die-sinking* EDM yang tepat dalam membuat implan *micro-plate* sulit dilakukan. Ini dikarenakan penelitian yang ada bentuk benda kerjanya berbentuk silinder dan menggunakan satu jenis material elektroda serta material yang digunakan masih menggunakan *pure titanium grade 2-5*. Selain itu, dari beberapa penelitian yang telah dilakukan terlihat bahwa pengaruh *pulse current* pada proses *die-sinking* EDM terhadap kekuatan *bending* pada implan *micro-plate* belum diteliti. Maka dari itu, Penelitian ini bertujuan menyelidiki pengaruh *pulse current* terhadap kekuatan *bending* implan *micro-plate* hasil dari proses *die-sinking* EDM. Penelitian memiliki keunggulan untuk mengetahui kekuatan *bending* implan *micro-plate* hasil dari proses *die-sinking* EDM. Keterbaruan penelitian ini adalah belum adanya penelitian mengenai pengaruh *pulse current* pada proses *die-sinking* EDM terhadap kekuatan *bending* pada implan *micro-plate*.

## 2. METODE PENELITIAN

Material yang digunakan untuk membuat implan *micro-plate* adalah lembaran CP-Ti grade 1 (NILACO Ltd., Tokyo, Japan) dengan ketebalan 0,4 mm. Ketebalan pelat CP-Ti yang digunakan berdasarkan ketebalan pelat penyambung tulang rahang jenis *micro-plate* yang ada dipasaran. Lembaran CP-Ti memiliki kekerasan sekitar 160 VHN. Mesin die-sinking EDM yang digunakan merk JOEMARS AZ50 seperti terlihat pada Gambar 2. Material elektroda menggunakan grafit dengan bentuk elektroda seperti terlihat pada Gambar 3.



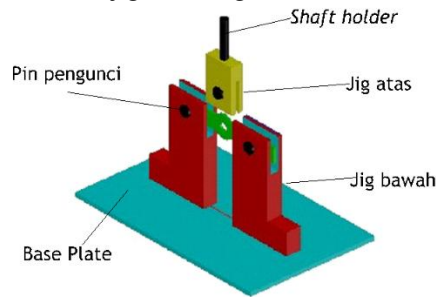
Gambar 2. Mesin CNC EDM die-sinking JOEMARS AZ50



Gambar 3. Bentuk elektroda grafit

Proses EDM die-sinking dalam membuat implan *micro-plate* dilakukan di CV. MECHALODON SAMUDRA ENGINEERING di Bandung. Proses menggunakan variasi *pulse current* sebesar 6, 9, dan 13 A. *Pulse on time* dan *pulse off time* yang digunakan sebesar 26  $\mu$ s. Proses pembuatan jig dilakukan di Laboratorium

Teknik Mesin Universitas Pancasila Jakarta. Bentuk jig untuk mendukung pengujian bending terlihat pada Gambar 4. Bahan dan proses pemesinan yang digunakan dalam pembuatan jig disajikan pada Tabel 1. Proses perakitan antara base plate dengan jig bawah dan jig atas dengan shaft holder menggunakan proses welding.



Gambar 4. Desain Jig

Tabel 1. Bahan dan proses pemesinan dalam pembuatan jig

Nama bagian	Bahan	Proses pemesinan
Base plate	SS 400	Milling
Jig bawah	SS 400	Milling dan drilling
Jig atas	SS 400	Milling dan drilling
Shaft holder	SS400	Turning
Pin pengunci	Spring steel	Grinding

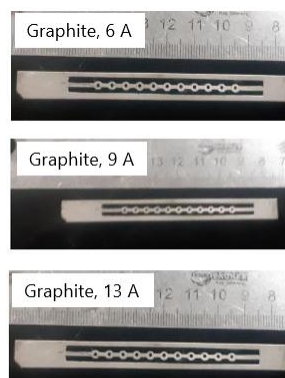
Proses pengujian bending dilakukan di Laboratorium uji departemen teknik metalurgi & material Universitas Indonesia. Pengujian bending menggunakan metode three points bending. Perhitungan kekuatan bending menggunakan Persamaan 1 (Sukarno dkk., 2022). Dimana  $\sigma_f$  adalah kekuatan bending ( $\text{kgf/m}^2$ ).  $P$  adalah beban maksimum (kgf).  $L$  adalah panjang spesimen (m).  $b$  adalah lebar spesimen (m).  $d$  adalah tebal spesimen (m). Analisa pengujian dilakukan untuk melihat pengaruh pulse current terhadap kekuatan bending dan elongation implan micro-plate.

$$\sigma_f = (3PL) / (2bd)^2 \tag{1}$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Proses edm die-sinking dalam membuat micro-plate

Proses EDM *die-sinking* berhasil memotong lembaran pelat CP-Ti membentuk implan *micro-plate*. Implan *micro-plate* hasil proses EDM *die-sinking* disajikan pada Gambar 5. Gambar memperlihatkan bentuk potong implan *micro-plate* mengikuti bentuk elektroda yang digunakan. Sisi potong terlihat tidak ada burr yang terbentuk ketika menggunakan pulse current 6, 9 maupun 13A.



Gambar 5. Implan *micro-plate* hasil proses EDM *die-sinking*

#### 3.2 Pembuatan jig

Desain Jig yang digunakan untuk uji tekuk terdapat beberapa komponen seperti terlihat pada Gambar 4, diantaranya: *shaft holder*, jig atas, jig bawah, base plate dan pin pengunci. *Shaft holder* jig berfungsi sebagai poros yang menerima tekanan dari mesin saat proses uji *bending*. Jig atas berfungsi sebagai dudukan lubang implan bagian tengah dan menjadi titik uji kekuatan *bending*. Jig bawah digunakan sebagai penyangga implan sisi kanan dan kiri. *Base plate* digunakan sebagai dudukan jig agar tidak mudah bergeser saat proses uji *bending*. Pin

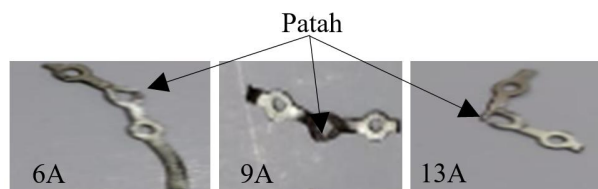
pengunci berfungsi sebagai penahan implan saat dipasang pada *attachment* jig atas dan jig bawah. Pin dimasukkan pada lubang jig sampai menembus lubang implan (3 lubang). Hasil pembuatan *jig* terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Jig untuk pengujian bending

### 3.3 Pengujian bending

Bentuk implan *micro-plate* hasil proses die-sinking EDM setelah dilakukan uji bending terlihat pada Gambar 7. Kerusakan atau patah yang terjadi terlihat sama di semua kondisi yaitu di area lingkaran dalam. Hasil uji *bending* terhadap implan *micro-plate* disajikan pada Tabel 2.

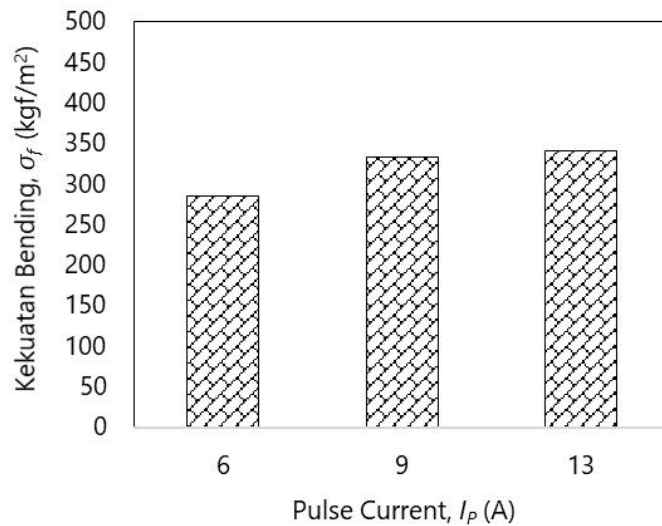


Gambar 7 .Specimen Hasil Uji *Bending*

Tabel 2. Data hasil uji bending terhadap implan *micro-plate* hasil proses EDM

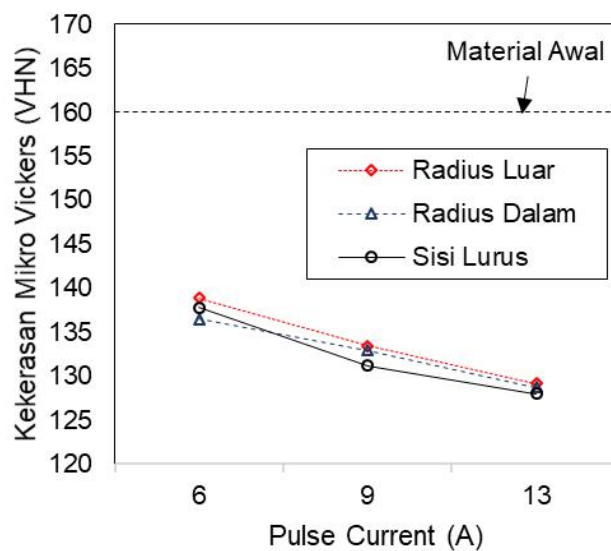
Pulse current (A)	L (m)	b (m)	d (m)	P (kgf)
6	10	1,08	0,4	130
9	10	1,08	0,4	150
13	10	1,08	0,4	180

Pengaruh *pulse current* terhadap kekuatan *bending* pada implan yang dihitung menggunakan persamaan 1 disajikan pada Gambar 8. Grafik menunjukkan ketika *pulse current* meningkat menyebabkan kekuatan *bending* dari implan *microplate* ikut meningkat. Kekuatan *bending* implan *microplate* ketika proses EDM menggunakan *pulse current* 9A meningkat sekitar 17% dibandingkan proses EDM menggunakan *pulse current* 6A. Peningkatan kekuatan bending ketika proses EDM menggunakan *pulse current* 13A sekitar 2,4% dibandingkan ketika menggunakan *pulse current* 9.



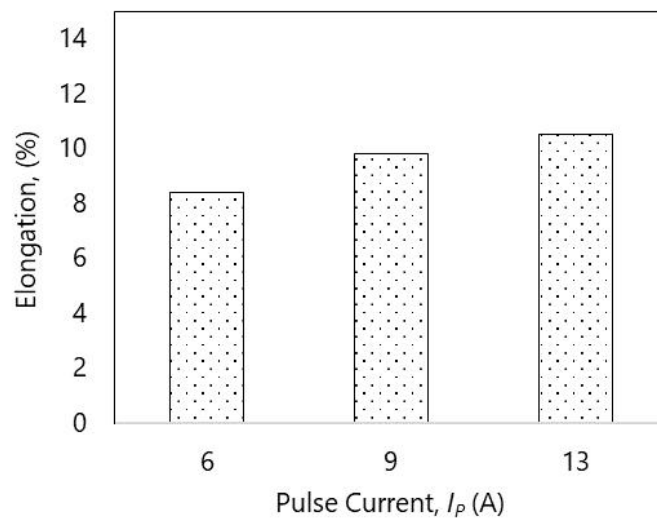
Gambar 8. Pengaruh *pulse current* dengan kekuatan *bending*

Peningkatan kekuatan bending disebabkan karena material setelah proses EDM menjadi lebih ulet. Keuletan material disebabkan adanya pengaruh elektro-plastik murni dari pulse current (Tang dkk., 2018; Xie dkk., 2015). Elektro-plastik murni terjadi karena proses EDM dalam pemotongan material menggunakan percikan bunga api yang berulang-ulang. Percikan api yang mengenai benda kerja menyebabkan suhu benda kerja naik ke suhu leleh. Secara bersamaan dialirkan cairan dielektrik yang dapat membuang benda kerja yang meleleh dan mendinginkan material. Selain pengaruh elektro-plastik murni, proses edm juga menyebabkan pelunakan material seperti pengaruh anil dari electro pulsing (Conrad dkk., 1983; Kim dkk., 2014). Kekerasan implan micro-plate hasil proses EDM terlihat pada Gambar 9. Grafik menunjukkan ketika pulse current meningkat kekerasan material menurun secara signifikan. Penurunan kekerasan material terjadi pada bagian radius luar, radius dalam dan sisi lurus. Penurunan kekerasan terbesar terjadi pada jari-jari luar, jari-jari dalam dan sisi lurus saat menggunakan arus pulsa 13 A masing-masing 7%, 6% dan 7% dibandingkan dengan arus pulsa 6A. Hasil ini memiliki trend yang sama dengan penelitian sebelumnya (Kurniawan dkk., 2022).



Gambar 9. Kekerasan implan micro-plate

Perubahan keuletan juga ditandai dengan perubahan elongation yang terjadi ketika pengujian bending. Perubahan elongation yang terjadi terlihat pada Gambar 10. Grafik menunjukkan perubahan elongation meningkat ketika terjadi peningkatan pulse current. Perubahan elongation ketika menggunakan pulse current 9A meningkat sekitar 16% dibandingkan pulse current 6A. Sedangkan ketika menggunakan pulse current 13A, perubahan elongation meningkat sekitar 7% dibandingkan pulse current 9A.



Gambar 10. Pengaruh *pulse current* dengan *Elongation*

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan diperoleh beberapa temuan. Proses die-sinking EDM berhasil memotong lembaran pure titanium dengan bentuk implan micro-plate. Besaran pulse current yang digunakan dalam proses die-sinking EDM mempengaruhi kekuatan bending dari implan micro yang dihasilkan. Semakin besar pulse current akan menghasilkan implan micro-plate yang semakin ulet. Keuletan implan micro-plate ditandai dengan tingginya kekuatan bending dan besarnya elongation yang terjadi. Selin itu, kekerasan material dari implan micro-plate juga menjadi menurun.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu baik berupa materi maupun pikiran sehingga penelitian dan paper ini dapat terselesaikan. Yang kedua penulis mengucapkan terimakasih kepada Fakultas Teknik Universitas Pancasila atas bantuan dana penelitian melalui program penelitian hibah internal 2022. Yang ke tiga penulis mengapresiasi Jurusan Teknik Mesin di Fakultas Teknik Universitas Pancasila atas fasilitas yang dipergunakan dalam penelitian ini.

#### DAFTAR NOTASI

$\sigma_f$  : Kekuatan bending ( $\text{kgf/m}^2$ )  
 $P$  : Beban maksimum ( $\text{kgf}$ )  
 $L$  : Panjang spesimen (m)  
 $b$  : Lebar spesimen (m)  
 $d$  : Tebal spesimen (m)

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abu Qudeiri, J.E., Mourad, A.H.I., Ziout, A., Abidi, M.H., Elkaseer, A., Electric discharge machining of titanium and its alloys, *The international journal of advanced manufacturing technology*, 96(1), 1319-1339, 2018.
- Antar, M., Hayward, P., Dunleavey, J., Butler-Smith, P., Surface integrity evaluation of modified edm surface structure, *Procedia CIRP*, 68, 308–312, 2018.
- Bhui, A.S., Singh, G., Sidhu, S.S., Bains, P.S., Experimental investigation of optimal ed machining parameters for ti-6al-4v biomaterial, *Facta Universitatis. Series: Mechanical Engineering*, 16(3), 337-345, 2018.
- Buschaiah, K., Jagadeeswararao, M., Krishnaiah, A., Investigation on the influence of edm parameters on machining characteristics for aisi 304, *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 3648-3656, 2018.
- Conrad, H., Karam, N., Mannan, S., Effect of electric current pulses on the recrystallization of copper, *Scripta Metallurgica*, 17(3), 411-416, 1983.
- Czelusniak, T., Higa, C.F., Torres, R.D., Laurindo, C.A.H., de Paiva Júnior, J.M.F., Lohrengel, A., Amorim, F.L., Materials used for sinking EDM electrodes: a review, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 41(1), 14, 2018.

- Groover, M.P., *Fundamentals of modern manufacturing materials, processes and systems*, sixth edition, Wiley, New York, 2016.
- Gugulothu, B. Optimization of process parameters on EDM of titanium alloy, *Materials Today: Proceedings*, 27(xxxx), 257–262, 2020.
- Huu-Phan, N., Tien-Long, B., Quang-Dung, L., Duc-Toan, N., Muthuramalingam, T., Multi-criteria decision making using preferential selection index in titanium based die-sinking pmedm, *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, 36(9), 793–802, 2019.
- Huu, P.N., Van, D.P., Shirguppikar, S., Tien, D.H., Van, T.N., Trong, L.N., Multi-objects optimization in  $\mu$ -edm using alcrni-coated tungsten carbide electrode for ti-6al-4 v, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 122(5), 2267–2276, 2022.
- Huu Phan, N., Muthuramalingam, T., Multi-criteria decision-making of vibration-aided machining for high silicon-carbon tool steel with taguchi–topsis approach, *Silicon*, 13(8), 2771–2783, 2021.
- Karmiris-Obratański, P., Papazoglou, E.L., Leszczyńska-Madej, B., Zagórski, K., Markopoulos, A.P., A comprehensive study on processing ti-6al-4v eli with high power edm, *Materials*, 14(2), 1–17, 2021.
- Kim, M.J., Lee, K., Oh, K.H., Choi, I.S., Yu, H.H., Hong, S.T., Han, H.N., Electric current-induced annealing during uniaxial tension of aluminum alloy, *Scripta Materialia*, 75, 58–61, 2014.
- Kumar, V., Beri, N., Kumar, A., Electric discharge machining of titanium and alloys for biomedical implant applications: a review, *International Journal of Research and Analytical Reviews*, 5(3), 9, 2018.
- Kumar, R., Roy, S., Gunjan, P., Sahoo, A., Sarkar, D.D., Das, R.K., Analysis of mrr and surface roughness in machining ti-6al-4v eli titanium alloy using edm process, *Procedia Manufacturing*, 20, 358–364, 2018.
- Kurniawan, Y., Tiyastianto, S.F., Rivansyah, A., Pangarsono, P.S., Sukma, H., Sulaksono, B., 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, *AME (Aplikasi Mekanika Dan Energi): Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 8(2), 104–109, 2022.
- Manjaiah, M., Narendranath, S., Basavarajappa, S., A review on machining of titanium based alloys using edm and wedm, *Reviews on Advanced Materials Science*, 36(2), 89–111, 2014.
- Muthuramalingam, T., Phan, N.H., Experimental investigation of white layer formation on machining silicon steel in pmedm process, *Silicon*, 13(7), 2257–2263, 2021.
- Nguyen, P.H., Banh, T.L., Mashood, K.A., Tran, D.Q., Dong Pham, V., Muthuramalingam, T., Duc Nguyen, V., Nguyen, D.T., Application of tgra-based optimisation for machinability of high-chromium tool steel in the edm process, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45(7), 5555–5562, 2020.
- Oshida, Y., *Materials classification*, second edition, Elsevier, 2013.
- Perumal, A., Azhagurajan, A., Baskaran, S., Prithivirajan, R., Narayansamy, P., Statistical evaluation and performance analysis of electrical discharge machining (edm) characteristics of hard ti-6al-2sn-4zr-2mo alloy, *Materials Research Express*, 6(5), 56552, 2019.
- Perumal, A., Azhagurajan, A., Prithivirajan, R., Kumar, S.S., Experimental investigation and optimization of process parameters in ti – (6242) alpha–beta alloy using electrical discharge machining, *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 31(4), 1787–1800, 2021.
- Phan, N.H., Dong, P.V., Jatti, V.S., Tam, N.C., Minh, N.D., Ly, N.T., Tai, B.T., Truong, D.V., Influence of process parameters on the microstructural characteristics and mechanical properties of recast layer thickness coating on die steel machined surface after electrical discharge machining, *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications*, 34(5), 1297–1304, 2021.
- Phan, N.H., Donga, P.V., Muthuramalingamb, T., Thiena, N.V., Dunga, H.T., Hunga, T.Q., Duca, N.V., Lya, N.T., Experimental investigation of uncoated electrode and pvd alcrni coating on surface roughness in electrical discharge machining of ti-6al-4v, *International Journal of Engineering, Transactions A: Basics*, 34(4), 928–934, 2021.
- Phan N.H., Vu Ngo, N., Tam Nguyen, C., Study on multi-objects optimization in edm with nickel coated electrode using taguchi - ahp – topsi, *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications*, 35(2), 276–282, 2022.
- Phan, N.H., Van Dong, P., Dung, H. T., Van Thien, N., Muthuramalingam, T., Shirguppikar, S., Tam, N.C., Ly, N.T., Multi-object optimization of edm by taguchi-dear method using alcrni coated electrode. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 116(5–6), 1429–1435, 2021.
- Pujjyulianto, E., Suyitno., Effect of pulse current in manufacturing of cardiovascular stent using edm die-sinking, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 112(11), 3031–3039, 2021.
- Rouniyar, A.K., Shandilya, P., Multi-objective optimization using taguchi and grey relational analysis on machining of ti-6al-4v alloy by powder mixed edm process, *Materials Today: Proceedings*, 5(11), 23779–23788, 2018.

- Singh, D., Jindal, S., Salvi, B.L., Khidiya, M.S., An experimental investigation of material removal rate in electric discharge machining of heat treated carbon tool steel (sk2mcr4), *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 5(10), 1798–1808, 2018.
- Sukarno, Asiri, M.H., Mardin, Analisis kekuatan tarik dan bending dari beberapa jenis kampuh v, x, i pada pengelasan smaw terhadap baja karbon medium, *Journal of Technology Process*, 1(2), 22-32, 2022.
- Taherkhani, A., Ilani, M.A., Ebrahimi, F., Huu, P.N., Long, B.T., Van Dong, P., Tam, N.C., Minh, N.D., Van Duc, N., investigation of surface quality in cost of goods manufactured (cogm) method of  $\mu$ -al2o3 powder-mixed-edm process on machining of ti-6al-4v, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 116(5–6), 1783–1799, 2021.
- Tang, Z., Du, H., Lang, L., Jiang, S., Chen, J., Zhang, J., Experimental investigation into the electropulsing assisted punching process of 2024t4 aluminum alloy sheet, *Journal of Materials Processing Technology*, 253, 86–98, 2018.
- Xie, H., Wang, Q., Peng, F., Liu, K., Dong, X., Wang, J., Electroplastic effect in az31b magnesium alloy sheet through uniaxial tensile tests, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 25(8), 2686–2692, 2015.