

Teguh Dwi Widodo

Dosen
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
widodoteguhdwi@ub.ac.id

Rudianto Raharjo

Dosen
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
rudiantoraharjo@ub.ac.id

Redi Bintarto

Dosen
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
redibintarto@ub.ac.id

Mega Nur Sasongko

Dosen
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
megasasongko@ub.ac.id

Satria Pamungkas

Mahasiswa
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
satria13pamungkas@gmail.com

PENGARUH TEKANAN PEMOTONGAN TERHADAP LAJU KOROSI STAINLESS STEEL 316L DENGAN PROSES ABRASIVE WATER JET CUTTING (AWJ)

The waterjet pressure on the Abrasive Water Jet cutting processes affects all the related to the phenomenon of the material. In this study, the effect of water pressure on the AWJ process on the surface quality and corrosion properties of 316L Stainless steel was investigated. The cutting process is carried out by varying the pressure on the nozzle and with the cutting angle being kept at an angle of 90° to the substrate surface. In this research, Garnet with 200 mesh is used as the abrasive material. The results of the AWJ will be tested for corrosion using the 3-cell electrode method and then the surface topography will be observed using SEM. The results obtained in this study are that the corrosion rate decreases with increasing pressure in the AWJ process, however there is an increase after passing the optimal point, namely at 3500 Psi pressure.

Keywords: Water Jet Cutting, Stainless Steel, Corrosion, Surface Roughness

1. PENDAHULUAN

Abrasive waterjet Cutting (AWJ) merupakan mekanisme pemotongan dengan memanfaatkan air dan butiran abrasive berkecepatan tinggi. Kecepatan ini didapat dengan memberikan tekanan pada fluida yang biasanya dioperasikan pada tekanan hingga 400 MPa untuk menghasilkan aliran air yang bergerak dalam kecepatan 915 m/s. Partikel abrasif di masukkan kedalam aliran air yang telah melaju dengan kecepatan tinggi sehingga aliran campuran antara air dan partikel abrasive menjadi aliran Waterjet yang bersifat abrasif [1,2, 3]. Jet ini kemudian diarahkan ke benda kerja untuk melakukan pemotongan.

Mesin waterjet abrasif (AWJ) adalah teknik canggih yang terbukti dapat digunakan untuk memproses berbagai bahan seperti paduan aluminium AA5083-H32 [4], kuningan-360 [5], superalloy berbasis nikel [6] stainless steel AISI 304 [7], bahkan komposisi [8]. Namun demikian masih sedikit referensi mengenai penggunaan AWJ pada stainless Steel 316L. Pada penelitian sebelumnya mereka mempelajari pengaruh tekanan nozzle, traverse rate and standoff distance terhadap kekasaran permukaan (SR). Mereka menerapkandesain eksperimen Taguchi untuk mengumpulkan nilai-nilai kekasaran permukaan. Penelitian terkait AWJ pada besi cor abu-abu, untuk meneliti pengaruh tekanan air, transvers speed, jarak nosel dan massa abrasif flow rate pada kekasaran permukaan telah di teliti [9]. Mereka juga menggunakan metode Taguchi untuk mendapatkan parameter proses optimal. Pada semua penelitian dapat diamati bahwa semua parameter operasional memiliki efek langsung pada kekasaran permukaan, namun demikian tekanan air memiliki efek paling besar pada kekasaran permukaan. Nilai kekasaran permukaan menurun jika tekanan dinaikkan. Namun demikian juga dapa diamati bahwa nilai kekasaran juga berbeda beda tergantung pada jenis material yang diteliti. Pengaruh tekanan pada proses Abrasive Water Jet Cutting juga pernah di teliti. Pada penelitian tersebut membahas pengaruh tekanan terhadap beberapa parameter seperti kedalaman cut, specific areageneration, maksimum cutting traverse rate, waviness permukaan dan biaya pemotongan serta karakteristik operasional nozzle (karakteristik penyebaran jet, fragmentasi partikel abrasif, kemampuan hisap, keausan tabung pencampuran dan efisiensi pencampuran). Dia melaporkan bahwa meningkatkan tekanan akan memungkinkan penghisapan material abrasive yang lebih banyak sehingga meningkatkan kemampuan pemotongan [10]. Liu (2003) mensimulasikan menggunakan Computational fluid dynamics (CFD) tentang karakteristik dinamis dari waterjet abrasive [11,12]. Mereka menghitung kecepatan dan lintasan partikel

abrasif berdasarkan tiga fase turbulen flow. Mereka juga membahas distribusi tekanan dan kecepatan dalam aksial jet serta arah radial. Mereka menemukan bahwa kinerja pemotongan optimum pada jarak 2 hingga 5 mm antara nozzle dan permukaan dari substrat, dan variasi kecepatan dan tekanan tidak significant untuk 80-90% diameter water jet.

Ketahanan korosi material sangat dipengaruhi oleh kondisi permukaan dari material termasuk Stainless steel 316L walaupun Stainless steel 316L mempunyai sifat yang superior untuk ketahanan korosinya [13,14,15]. Superioritas ini di karenakan adanya lapisan Chromium (Cr) pada stainless steel. AWJ menawarkan proses pemotongan pada logam yang tidak menimbulkan HAZ (Heat Affected Zone) sehingga sangat baik jika di aplikasikan pada logam.

Penggunaan AWJ dengan memvariasikan tekanan pada proses pemotongan dilakukan pada penelitian ini. Pengaruh AWJ tersebut terhadap karakter korosi pada permukaan Stainless Steel kemudian di evaluasi dengan menggunakan potentiodynamic polarization.

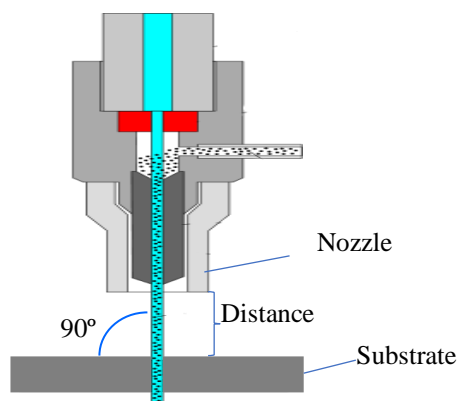
2. METODE DAN BAHAN

Pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah Plat Stainless steel 316L dengan komposisi kimia seperti yang tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia Stainless Steel 316L

Element	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	Cu	Fe
Persentase	0.03	16.69	10.57	2.39	1.74	0.67	0.34	67.57

Pada penelitian ini plat Stainless steel di potong dengan ukuran 10x10 cm untuk di siapkan menjadi substrat pada proses AWJ. Sebelum itu material di treatment dengan menggunakan annealing pada temperature 1200°C selama 30 menit untuk menghilangkan tegangan sisa yang ada pada material akibat proses manufaktur dan proses preparasi dari sampel. Proses AWJ dilakukan pada temperature ruang dengan variasi tekanan 2500, 2750, 3000, 3250, 3500, 3750 Psi. Sudut antara nozzle dan sampel di atur pada sudut 90° dengan transverse speed konstan yaitu 100mm/ menit. Pada penelitian ini juga menggunakan Garnet dengan ukuran mesh 48-80 sebagai material abrasive yang akan di campurkan dengan air dengan kecepatan yang tinggi. Adapun diagram skema AWJ pada penelitian ini di tunjukkan pada Gambar 1.



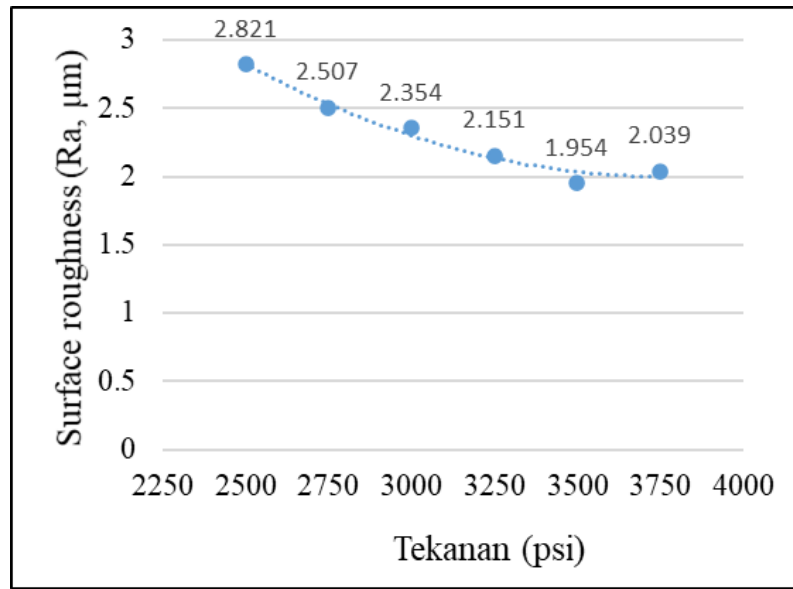
Gambar 1. Diagram Proses AWJ

Setelah proses AWJ permukaan yang terpotong diobservasi dengan menggunakan Scanning Electron microscope (SEM) untuk mengetahui topography dari permukaannya. Sedangkan untuk mengetahui kekasaran permukaan dari permukaannya dilakukan pengujian kekasaran permukaan dengan menggunakan Mitutoyo SJ 210 surface roughness tester. Potentiodynamic polarization dilakukan untuk mengetahui sifat korosi dari Stainless Steel 316L termasuk laju korosi dan karakter korosi dari Stainless Steel 316L dalam larutan yang terkonsentrasi ion Cl⁻. Proses potentiodynamic polarization dilakukan pada temperatur ruang dengan menggunakan Pt sebagai counter electrode dan Ag/AgCl sebagai reference electrode.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Kekasaran Permukaan

Dari hasil pengujian kekasaran permukaan (R_a) terhadap tekanan nozzle seperti pada Gambar 2 didapat hasil bahwa nilai kekasaran terus menurun dari tekanan 2500 psi sampai dengan tekanan 3500 psi. Namun pada tekanan 3750 psi seperti pada grafik laju korosi, nilai kekasaran meningkat. Kenaikan ini disebabkan oleh tekanan air yang terlalu tinggi menyebabkan terjadinya tumbukan antar Abrasive yang dan partikel abrasive menjadi terfragmentasi. Partikel Abrasive ini menjadi terlalu halus dan kehilangan kemampuan memotong. Karena kemampuan pemotongannya yang berkurang menyebabkan nilai kekasaran permukaan yang tinggi

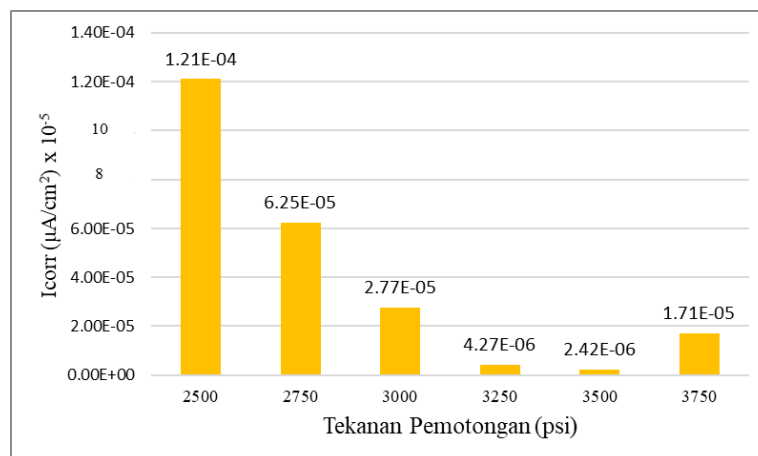


Gambar 2. Hubungan Tekanan dan Kekasaran Permukaan

3.2 Korosi

3.2.1 Current Density

Gambar 3 menunjukkan nilai I_{corr} pada pengujian potentiodynamic polarization. Dari pebgujian ini didapatkan nilai dari I_{corr} pada tekanan 2500 psi $1.21 \times 10^{-4} \mu\text{A}/\text{cm}^2$, tekanan 2750 psi $6.25 \times 10^{-5} \mu\text{A}/\text{cm}^2$, tekanan 3000 psi $2.77 \times 10^{-5} \mu\text{A}/\text{cm}^2$, tekanan 3250 psi $4.27 \times 10^{-6} \mu\text{A}/\text{cm}^2$, tekanan 3500 psi $2.42 \times 10^{-6} \mu\text{A}/\text{cm}^2$, tekanan 3750 psi $1.71 \times 10^{-5} \mu\text{A}/\text{cm}^2$.

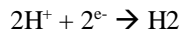


Gambar 3. Hubungan Tekanan Pemotongan dan Corrosion Current Density

Pada pengujian ini didapatkan bahwa semakin tinggi nilai tekanan pemotongan maka nilai I_{corr} juga semakin meningkat. Hal ini dikarenakan semakin meningkatnya nilai tekanan pemotongan maka akan menurunkan reaksi anodik yang terjadi. Reaksi anodik ini terjadi pada elektroda kerja dimana atom bermuatan positif yang mengandung unsur dari benda kerja. Dari reaksi anodik terjadi oksidasi dan elektron akan berpindah menuju elektroda pembantu. Semakin meningkatnya nilai dari tekanan pemotongan maka elektron yang mengalir akan semakin banyak.



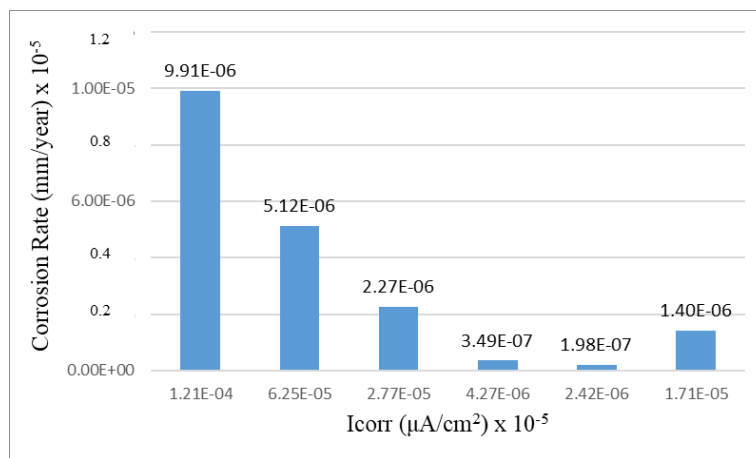
Pada reaksi oksidasi tersebut terjadi pada elektroda kerja. Saat oksidasi terjadi unsur Fe terlepas menjadi 2 elektron dan 2 atom Fe^{+} . Elektron yang bermuatan negatif berpindah menuju elektroda pembantu. Setelah itu elektron akan bereaksi dengan elektrolit dan membentuk gelembung gas disekitar elektroda pembantu. Berikut reaksi kimia yang terjadi pada elektroda pembantu saat terbentuknya gelembung gas.



Namun pada tekanan 3750 psi partikel abrasive mulai terfragmentasi dan mengakibatkan pemotongan menjadi tidak optimal. Pemotongan yang tidak optimal berimbas akan meningkatkan jumlah elektron yang berpindah saat terjadi oksidasi. Dengan jumlah elektron yang mengalir semakin meningkatkan akan menambah nilai dari I_{corr} .

3.2.2 Corrosion Rate

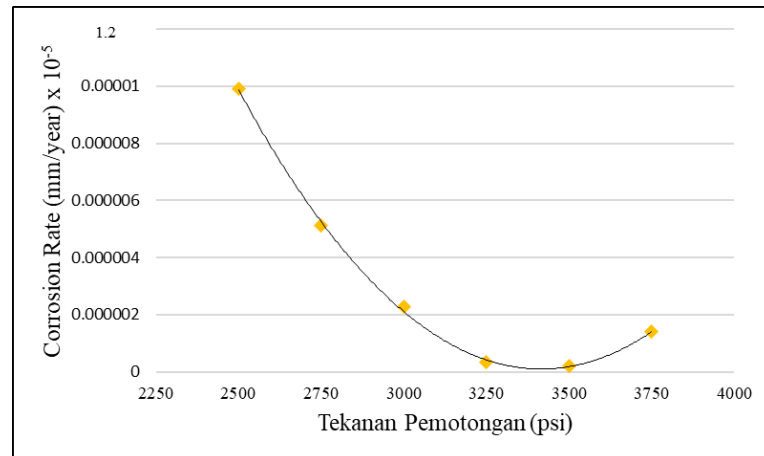
Dengan menemukan nilai I_{corr} maka nilai laju korosi dapat ditentukan. Laju korosi diketahui dengan rumus metode elektrokimia. Berikut grafik hubungan antara nilai I_{corr} dan laju korosi. Pada Gambar 4.3 didapatkan nilai laju korosi pada I_{corr} $1.21 \times 10^{-4} \mu A/cm^2$ sebesar $9.91 \times 10^{-6} mm/year$, untuk I_{corr} $6.25 \times 10^{-5} \mu A/cm^2$ memiliki nilai laju korosi sebesar $5.12 \times 10^{-6} mm/year$, untuk I_{corr} $2.77 \times 10^{-5} \mu A/cm^2$ nilai laju korosinya $2.27 \times 10^{-6} mm/year$, I_{corr} $4.27 \times 10^{-6} \mu A/cm^2$ laju korosinya $3.49 \times 10^{-7} mm/year$. Untuk I_{corr} $2.42 \times 10^{-6} \mu A/cm^2$ memiliki nilai laju korosi $1.98 \times 10^{-7} mm/year$, dan untuk I_{corr} $1.71 \times 10^{-5} \mu A/cm^2$ memiliki nilai dari laju korosi sebesar $1.40 \times 10^{-6} mm/year$.



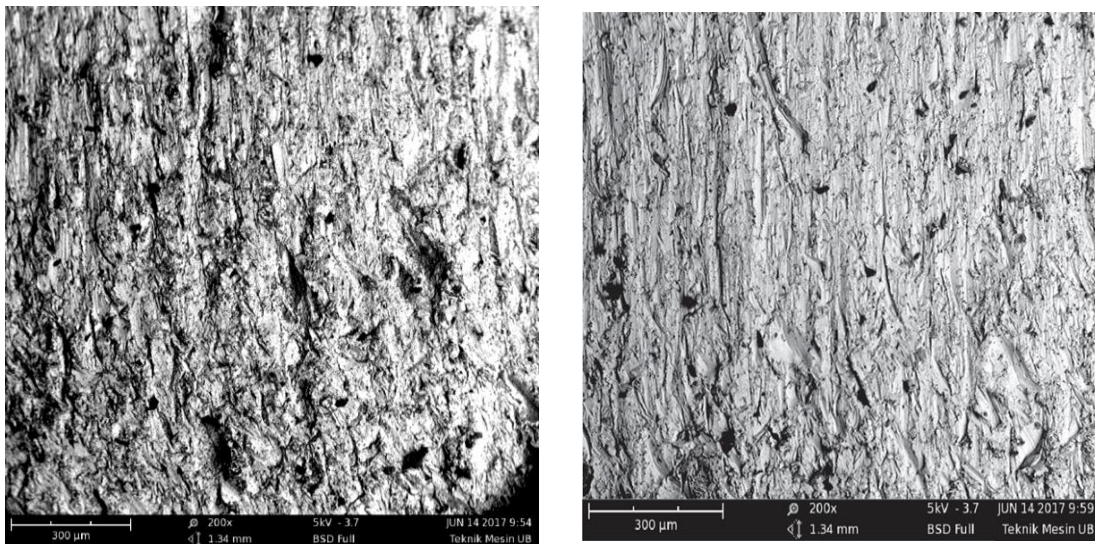
Gambar 4. Hubungan antara Current density dan Corrosion Rate

Gambar4 menunjukkan pengaruh antara tekanan pemotongan terhadap laju korosi. Pada titik tekanan 2500 psi, nilai laju korosi memiliki nilai tertinggi dan terus menurun hingga tekanan 3500 psi, kemudian naik pada tekanan 3750 psi. Hal ini disebabkan semakin tinggi nilai tekanan maka menyebabkan debit / massa alir yang digunakan untuk memotong logam semakin tinggi juga. Dengan meningkatnya massa alir maka jumlah air dan *abrasive* semakin banyak juga dan memberikan hasil kekasaran permukaan yang rendah.

Dengan nilai kekasaran yang rendah maka nilai laju korosi akan menurun dikarenakan pembentukan lapisan pasifasi yang lebih baik dibandingkan dengan dengan spesimen uji dengan kekasaran permukaan yang tinggi. Semakin meningkatnya tekanan yang diaplikasikan maka pemotongan menjadi semakin optimal. Semakin optimal nya tekanan pemotongan menyebabkan pengikisan yang semakin banyak dan menghasilkan kekasaran permukaan yang rendah dan berimbas menurunkan nilai dari laju korosi. Hubungan antara Tekanan pemotongan dengan laju korosi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hubungan Tekanan Pemotongan dan Corrosion Rate



Gambar 6. SEM Image dari permukaan yang terkena AWJ (a) 2500 Psi (b) 3500 Psi

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa, pada tekanan 2750 psi hasil pemotongan memiliki kekasaran permukaan yang tinggi dibandingkan dengan Gambar 4.6 dengan tekanan pemotongan 3500 psi. Pada Gambar 4.6 terlihat memiliki permukaan yang lebih halus dikarenakan tekanan yang lebih tinggi meningkatkan nilai debit / massa alir air dan *abrasive* yang digunakan untuk pemotongan sehingga permukaan benda kerja dengan tekanan pemotongan 3500 psi terlihat lebih halus dibanding dengan spesimen tekanan 2750 psi.

Dari Gambar 6 dengan parameter pemotongan 3750 psi terlihat bahwa permukaan benda kerja lebih kasar dibandingkan dengan benda kerja Parameter 3500 psi. Hal ini disebabkan oleh tekanan yang terlalu tinggi menyebabkan penurunan kemampuan pemotongan diakrenakan pasir *abrasive* yang terfragmentasi.

Dapat dilihat pada Gambar 4.8 partikel setelah pemotongan pada tekanan 3750 psi memiliki ukuran partikel *Abrasive* yang lebih kecil daripada partikel *Abrasive* yang belum mengalami pemotongan. Partikel *Abrasive* setelah pemotongan dengan tekanan 3750 psi mengalami fragmentasi. Fragmentasi ini disebabkan oleh tumbukan antar partikel Abrasive dan mengurangi kemampuan pemotongan sehingga meningkatkan nilai dari kekasaran permukaan. (1)

4. KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kecenderungan grafik laju korosi menurun pada tekanan 2500 psi sampai dengan tekanan 3500 psi kemudian naik pada tekanan 3750 psi. Hal ini disebabkan pada 2500 psi sampai dengan 3500 psi debit/massa alir dan abrasivitas meningkat sehingga meningkatkan kemampuan pemotongan sehingga menghasilkan kekasaran permukaan yang rendah dan berimbang menurunkan nilai dari laju korosi. Namun pada tekanan 3750 psi nilai kekasaran meningkat. Kenaikan ini disebabkan oleh tekanan air yang terlalu tinggi menyebabkan partikel terjadinya abrasivitas menjadi terfragmentasi. Dengan kekasaran yang meningkat semakin banyak elektrolit yang mengalami kontak dengan benda uji sehingga nilai laju korosi menjadi tinggi

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] BENEDICT G.F. “Non-traditional manufacturing processes”, *Manufacturing engineering and material processing*, vol 19. 1987.
- [2] LIU J. and Zhu Y. “Fragmentation Pattern and Removal Mechanism of Concrete Subjected to Abrasive Water Jet Impact”, *Advances in Materials Science and Engineering*, Vol. 2021, pp. 1-10. 2021.
- [3] LI W, ZHU H, and WANG J. “An investigation into the radial-mode abrasive waterjet turning process on high tensile steels”, *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol. 77, pp. 265-376. 2013.
- [4] KUMAR BA, KUMARESAN G”Abrasive water jet machining of aluminum-silicon carbide particulate metal matrix composites.” *Material Science Forum*, Vol. 830, pp. 83–86, 2015.
- [5] BABU MN, MUTHUKRISHNAN N “Investigation on surface roughness in abrasive water jet machining by the response surface method”, *Material Manufacture Process*, Vol. 29, no. 11, pp. 1422–1428, 2014.
- [6] UTHAYAKUMAR M, KHAN MA, KUMARAN ST, SLOTA A, ZAJAC J, “Machinability of nickel-based superalloy by abrasive water jet machining”, *Material Manufacture Process*, Vol. 31, no. 13, pp. 1733–1739, 2016.
- [7] SINGH D, CHATURVEDI V, “Investigation of optimal processing condition for abrasive water jet machining for stainless steel AISI 304 using grey relational analysis coupled with S/N ratio”, *Applied Mechanics of Material*. Vol. 592, no. 94, pp. 438–443, 2014.
- [8] KUMAR BA, KUMARESAN G “Abrasive water jet machining of aluminum-silicon carbide
- [9] particulate metal matrix composites”, *Material Science Forum*, Vol. 83, pp. 83–86, 2015.
- [10] SELVAN MCP, RAJU NMS “Analysis of surface roughness in abrasive water jet cutting of cast iron” *International Journal Science Environment Technology 1*, Vol. 3 pp.174–182, 2012.
- [11] AMEER J. NADER AND SAAD K. SHATHER, ”Influence of Abrasive Water Jet (AWJ) on Surface Roughness” *International Journal of Engineering Materials and Manufacture*, Vol. 6, no. 3, pp. 132-140. 2021
- [12] MUSTOFA G, KIL K, and, HWAN A, “Computational fluid analysis of abrasive waterjet cutting head”, *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 2010, no. 24, pp. 249 – 252. 2010.
- [13] WIDODO TD, RAHARJO R, BINTARTO R “Effect of Grain Size in Silica Blasting Processes on the Surface Roughness of Medical Grade SS 316L” *Key Engineering Materials*, Vol. 867, no. 1 pp. 134-139. 2020.
- [14] WIDODO TD, RAHARJO R, ZAIMI M “ Surface Roughness Characterization of Medical Implant Material SS316L Stainless Steel after Cut with Water Jet Cutting Process “*Key Engineering Materials*, Vol. 867, no. 1 pp. 182-187. 2020.
- [15] WIDODO TD, RAHARJO R, BINTRATO R, KUSUMA H, “Pengaruh Tegangan dan Waktu pada Proses Elektropolishing terhadap Surface Rognhness Material Stainless Steel AISI 316L”, *Rekayasa Mesin*, Vol. 10, no. 3, pp. 309-316, 2019.