

Analysis of the Effect of Tool Material and Spindle Rotation Speed on Cutting Surface Roughness in Turning Aluminum Alloy 6061 **[Analisa Pengaruh Material Tool dan Kecepatan Putaran Spindle Terhadap Kekasaran Permukaan Pemotongan Pada Pembubutan Alumunium Alloy 6061]**

Aditya Rajasa¹⁾, A'rasy Fahrudin²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: a'rasyfaruddin@umsida.ac.id

Abstract. *As time and technology develop manufacturing industry, the machining process cannot be separated. In particular, the turning process process used in manufacturing industry. In turning techniques, most important job completion process, apart from product dimensions, is surface roughness, which critical quality characteristic of workmanship. Surface roughness has important role in product quality and a parameter for evaluating machining process accuracy. Based on data from testing results of cutting surface roughness of aluminum alloy 6061 using various research types of Carbide and HSS cutting tools and various research spindle speeds, each which is 500 rpm, 800 rpm, 1200 rpm. The smallest roughness results were obtained for variations in the type of carbide cutting tool and a spindle speed of 1200 rpm, while the largest roughness value was for variation the type of HSS cutting tool and spindle speed of 500 rpm. By using Carbide cutting chisels, each test result was lower compared to HSS cutting chisels and cutting speeds high rpm resulted in lower roughness compared to low rpm.*

Keywords – Tools, Roughness, Turning, Aluminum Alloy 6061.

Abstrak. *Seiring perkembangan zaman dan teknologi dalam industri manufaktur, tidak lepas dari proses permesinan. Khususnya proses pembubutan merupakan proses yang digunakan dalam industri manufaktur. Dalam teknik pembubutan Proses penyelesaian pekerjaan terpenting selain dimensi produk maka kekasaran permukaan yaitu karakteristik kualitas pengerjaan yang kritis. Kekasaran permukaan mempunyai peranan penting pada kualitas produk dan parameter untuk mengevaluasi proses keakurasian permesinan. Berdasarkan data hasil pengujian kekasaran permukaan potong aluminium alloy 6061 dengan menggunakan variasi penelitian jenis pahat potong Karbida dan HSS dan variasi penelitian kecepatan spindle yang masing-masing adalah 500 rpm, 800 rpm, 1200 rpm maka. didapatkan hasil kekasaran terkecil adalah pada variasi jenis pahat potong karbida dan kecepatan spindle 1200 rpm, sedangkan nilai kekasaran terbesar adalah pada variasi jenis pahat potong HSS dan kecepatan spindle 500 rpm. Dengan menggunakan pahat potong Karbida didapatkan hasil pengujian lebih rendah setiap hasilnya dibandingkan pahat potong HSS dan Kecepatan potong dengan rpm tinggi menghasilkan kekasaran rendah dibandingkan rpm rendah.*

Kata Kunci – Tool, Kekasaran, Pembubutan, Aluminium Alloy 6061.

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan zaman dan teknologi dalam industri manufaktur, tidak lepas dari adanya proses permesinan. Proses pembubutan merupakan salah satu proses yang sering digunakan dalam konstruksi elemen mesin di industri manufaktur salah satunya ialah dirgantara, otomotif, perkapalan. Proses pemotongan logam merupakan suatu proses yang digunakan untuk mengubah suatu bentuk ke dalam produk dari logam (komponen mesin perkakas) dengan cara memotong, selain itu proses pemotongan logam merupakan kegiatan terbesar yang dilakukan pada industri manufaktur, proses ini mampu menghasilkan komponen-komponen yang memiliki bentuk yang kompleks dengan akurasi geometri dan dimensi yang tinggi [1]. Dalam proses pembubutan pada umumnya ialah suatu proses yang prinsip kerjanya berputar kemudian menyayat benda kerja dengan menggunakan pahat secara memanjang dan melintang, dalam proses tersebut pemesinan yang kering dapat mempengaruhi terhadap hasil pembubutan kerja, sehingga dapat menimbulkan permasalahan yaitu pengaruh ketika melakukan proses pembubutan.[2]. Proses pemesinan pembubutan tentunya membutuhkan mesin perkakas yaitu mesin bubut.

Mesin bubut adalah salah satu mesin perkakas yang memutar benda kerja pada sumbu rotasi untuk melakukan berbagai proses seperti pemotongan, pengamplasan, knurling, pengeboran, deformasi, pembubutan muka, dan pemutaran. Dengan alat yang ditepatkan pada benda kerja untuk membuat objek dengan simetris terhadap sumbunya. Proses permesinan tersebut tentunya menggunakan pahat dengan satu mata potong untuk membuang atau mengurangi

material dari permukaan benda kerja yang berputar. Dengan mekanisme yang tepat dan baik, maka proses pembubutan memiliki kekhususan untuk membuat benda kerja yang membentuk silindris. [3].

Dalam proses pembubutan pastinya diperlukan bahan atau benda kerja, karena benda kerja termasuk komponen wajib dalam proses pembubutan. Terdapat beberapa bahan yang biasanya digunakan dalam proses pembubutan, salah satunya logam, seiring dengan perkembangan teknologi di industri manufaktur. Logam tentunya memiliki peranan penting sebagai bahan utama operasional maupun sebagai bahan baku produksi. Sifat-sifat yang dimiliki oleh suatu logam akan berkaitan satu dengan lainnya. Suatu komponen yang terbuat dari logam di dalam aplikasinya sangat ditentukan oleh kemampuan logam yang akan digunakan. Dimana logam tersebut digunakan dan bahan logam tersebut sehingga pengetahuan yang meliputi berbagai karakteristik logam yang dipakai haruslah dimiliki oleh orang yang berkecimpung didalamnya [4].

Dari setiap hasil penelitian dan uji coba yang dilakukan pada alumunium tetap saja tidak bisa menentukan satu jenis campuran atau teknis pembuatan Alumunium yang dapat digunakan pada seua kebutuhan. Alumunium murni memiliki kekuatan yang rendah. Hal ini dapat diperbaiki dengan memadukan alumunium dengan komposisi lain untuk meningkatkan sifat-sifat alumunium murni. Kekuatan tarik aluminium murni adalah 90 MPa, sedangkan paduan alumunium memiliki kekuatan stensil 200-600 MPa. Aluminium memiliki berat baja, mudah ditekuk, dikerjakan dengan mesin, dicetak ditarik, dan diekstusi. Salah satu paduan Aluminium ada seri 6061[5]. Aluminium seri 6061 merupakan Aluminium paduan yang cukup banyak digunakan di dunia perkapalan khususnya pada stuktur lepas pantai. AA 6061 adalah paduan Aluminium dengan komposisi utama magnesium dan silicon yang memiliki sifat tidak dapat diperlakukan dengan panas, tetapi memiliki sifat yang baik dalam hal kekuatan korosi, terutama korosi oleh air laut serta sifat mampu las yang baik [6].

Dalam teknik pembubutan Proses penyelesaian pekerjaan yang terpenting selain dimensi produk maka kekasaran permukaan (*surface roughness*) yaitu salah satu karakteristik kualitas pengerjaan yang kritis (*Critical to Quality Charactersistcs/CTQ*). Kekasaran permukaan mempunyai peranan yang sangat penting pada suatu kualitas produk dan salah satu parameter untuk mengevaluasi dari proses keakurasian permesinan [7]. Dalam penyayatan dan pemakanan proses pembubutan salah satu tujuannya yaitu untuk mencapai nilai kekerasan terendah sehingga dapat mencapai nilai kekerasan terendah sehingga dapat mencapai tingkat kehalusan terbaik [8]. Tentunya ada beberapa factor yang mempengaruhi, yaitu material tools seperti penggunaan pahat, dalam proses pembubutan sangat mempengaruhi tingkat kekasaran permukaan hasil bubutan [9]. Faktor seperti geometri pahat, materialnya, kecepatan pemotongan, dan kedalaman pemakanan berperan penting dalam menentukan seberapa halus atau kasar permukaan yang dihasilkan. Yang sering dijumpai dalam industri ialah Pahat HSS, Pahat *high steels* (HSS) terbuat dari jenis baja paduan tinggi dengan unsur paduan krom (Cr) dan *tungsten* atau *wolfram* (W). Melalui proses penuangan (*Wolfram metallurgi*) kemudian diikuti pengerolan ataupun penempaan [10].

Dari penjelasan latar belakang tersebut maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “Analisa Pengaruh material Tool terhadap kekasaran pembubutan Alumunium Alloy 6061”. Dari penelitian ini, penulis mengharapkan mendapat sebuah kesimpulan mengenai nilai kekerasan dari pengaruh material tool dari proses pembubutan material Alumunium Alloy 6061. Dan tentunya masih sedikitnya penelitian yang meneliti mengenai hal tersebut.

II. METODE

A. Diagram Alur Penelitian

Diagram alir ini dibuat supaya penelitian ini dapat terlaksana sesuai dengan tahapan dan menghindari kekeliruan pada saat melakukan penelitian. Oleh karenanya dibuat sebuah diagram alur pada penelitian ini sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

B. Studi Literatur

Studi literatur tentang proses pembubutan terfokus pada pentingnya pemotongan logam untuk komponen dengan akurasi tinggi di industri seperti dirgantara, otomotif, dan perkapalan, menggunakan bahan seperti Aluminium Alloy 6061. Kekasaran permukaan menjadi kritis dalam evaluasi kualitas produk, dipengaruhi oleh kecepatan potong, kedalaman potong, dan gerak makan. Penggunaan material pahat juga penting untuk meningkatkan kualitas pemotongan [11]. Penelitian mendatang perlu mengeksplorasi lebih lanjut pengaruh material tool terhadap kekasaran permukaan Aluminium Alloy 6061 untuk inovasi pembubutan yang lebih baik.

C. Variabel Penelitian

Variabel penelitian yaitu salah satu hal penting dalam membuat sebuah penelitian guna mendapatkan hasil penelitian yang baik dan sesuai dengan hasil yang diinginkan. Berikut variabel yang digunakan dalam penelitian ini.

1. Variabel Bebas : jenis pahat dan kecepatan putaran *spindle*. jenis pahat potong yang digunakan adalah Karbida dan HSS dan kecepatan putaran spindle yang digunakan adalah 500 rpm, 800 rpm, 1200 rpm
2. Variabel Terikat : Kekasaran Permukaan diukur dengan parameter Ra (average roughness) dengan menggunakan satuan micrometer (μm).

D. Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan yang diperlukan untuk melakukan penelitian dan pengujian adalah sebagai berikut :

1. Mesin Bubut

Mesin bubut adalah suatu mesin perkakas yang digunakan untuk memotong benda yang diputar. Dengan mengatur perbandingan kecepatan rotasi benda kerja dan kecepatan translasi pahat maka akan diperoleh berbagai macam ulir dengan ukuran kisar yang berbeda. Hal ini dapat dilakukan dengan jalan menukar roda gigi translasi yang menghubungkan poros spindle dengan poros ulir [12]. Dalam penelitian kali ini menggunakan mesin bubut konvensional dengan spesifikasi sebagai berikut.

Tabel 1. Spesifikasi Bubut Konfesional

Item	Spesifikasi
Jenis Mesin	Mesin Bubut Konfesional
Type	SAN YUEN SY-GF
Kecepatan Max Spindel	3500 RPM
Kec. Pemakanan Otomatis	(Z) 8 m/sekon, (X) 6 m/menit
Spindle Bore	60 mm
Max Turning Diameter	170 mm (dapat disesuaikan dengan kebutuhan)
Max Turning Length	400 (dapat disesuaikan dengan kebutuhan)
Motor Power	4 KW



Gambar 2. Mesin Bubut Konvensional

2. Pahat Potong HSS

Pahat potong HSS (*High Speed Steel*) adalah jenis pahat yang terbuat dari baja paduan tinggi yang memiliki kemampuan tahan terhadap suhu tinggi dan keausan. Baja ini mengandung unsur paduan seperti krom, tungsten, molibdenum, dan vanadium yang meningkatkan kekerasan dan ketahanan terhadap panas. Pahat HSS cocok digunakan untuk pemotongan pada kecepatan tinggi dalam proses pembubutan dan penggerindaan, serta digunakan secara luas dalam industri untuk memproses logam dan bahan-bahan keras lainnya. Pahat HSS menjadi bahan pilihan untuk aplikasi industri yang canggih. Ini memiliki ketahanan korosi yang lebih baik daripada baja konvensional, dan memiliki ketahanan aus yang lebih baik dari pada baja tahan karat [13].



Gambar 3. Pahat Potong HSS

3. Pahat Potong Karbida

Pahat potong karbida adalah jenis pahat yang terbuat dari karbida tungsten yang diperkuat dengan sebuah binder seperti kobalt atau nikel. Pahat ini memiliki kekerasan yang sangat tinggi dan tahan terhadap panas, membuatnya cocok untuk pemotongan material yang sangat keras seperti baja yang diperlakukan panas, paduan nirkarat, dan bahan keramik. Pahat karbida umumnya digunakan dalam proses pemesinan yang membutuhkan ketahanan yang luar biasa terhadap aus dan suhu tinggi, serta untuk meningkatkan produktivitas dan presisi dalam pembubutan [14].



Gambar 4. Pahat Potong Karbida

4. *Surface Roughness Tester*

Surface Roughness Tester adalah sebuah alat atau perangkat yang digunakan untuk mengukur kekasaran permukaan suatu benda atau material. Alat ini biasanya digunakan dalam industri untuk memastikan bahwa permukaan suatu produk atau bahan memenuhi standar yang ditentukan, baik untuk tujuan estetika maupun fungsionalitas. *Surface Roughness Tester* mengukur berbagai parameter seperti kedalaman goresan, arah goresan, dan profil permukaan lainnya yang relevan untuk keperluan inspeksi dan kualitas [15].



Gambar 5. *Surface Roughness Tester*

5. Aluminium Alloy 6061

Pada penelitian kali ini menggunakan bahan Aluminium Alloy 6061, yaitu jenis paduan aluminium yang terkenal karena kekuatan tinggi, kekakuan, dan ketahanan baik terhadap korosi. Paduan ini sering digunakan dalam aplikasi struktural seperti pesawat terbang, kendaraan, dan manufaktur umum karena kombinasi sifat-sifatnya yang menguntungkan [3].



Gambar 6. Aluminium Alloy 6061

6. Oli Dromus

Pada proses pembubutan tentunya tidak lepas dari media pendingin (coolant). Pada penelitian ini menggunakan media pendingin jenis oli Dromus. Oli Dromus adalah jenis oli pendingin yang digunakan dalam proses pengerolan logam. Oli ini dirancang khusus untuk memberikan pendinginan yang efektif pada permukaan logam yang sedang diproses, seperti pada saat pengerolan plat baja atau logam lainnya. Oli Dromus juga dapat mengandung bahan pelumas tambahan untuk mengurangi gesekan dan memperbaiki kualitas permukaan hasil akhir dari logam yang dikerol [7].



Gambar 7. Oli Dromus

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Uji Kekasaran Permukaan Potong

Berdasarkan pengujian kekasaran didapatkan hasil dari variabel penelitian pengujian kekasaran permukaan potong pada aluminium alloy 6061 menggunakan alat *surface roughness tester* menunjukkan hasil dimana nilai kekasarannya adalah

Tabel 2. Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan potong pembubutan

No. Spc	Jenis Pahat Potong	Kec. Spindel (Rpm)	Nilai Kekasaran SRT (μm)
1.	HSS	500	7,690
2.	HSS	800	4,573
3.	HSS	1200	1,627
4.	Karbida	500	5,972
5.	Karbida	800	2,856
6.	Karbida	1200	1,271

Hasil dari uji kekerasan pada permukaan potong pada aluminium alloy 6061 didapatkan hasil kekasaran terkecil adalah pada variasi jenis pahat potong karbida dan kecepatan spindle 1200 rpm, sedangkan nilai kekasaran terbesar adalah pada variasi jenis pahat potong HSS dan kecepatan spindle 500 rpm.



Gambar 8. Pengujian Kekasaran Spesimen 1

Sesuai dengan **Gambar 8.** dengan parameter jenis pahat potong HSS dan kecepatan Spindel 500 rpm, didapatkan hasil pengujian kekasaran $7,690 \mu\text{m}$.



Gambar 9. Pengujian Kekasaran Spesimen 2

Sesuai dengan **Gambar 9.** dengan parameter jenis pahat potong HSS dan kecepatan Spindel 800 rpm, didapatkan hasil pengujian kekasaran $4,573 \mu\text{m}$.



Gambar 10. Pengujian Kekasaran Spesimen 3

Sesuai dengan **Gambar 10.** dengan parameter jenis pahat potong HSS dan kecepatan Spindel 1200 rpm, didapatkan hasil pengujian kekasaran $1,627 \mu\text{m}$.



Gambar 11. Pengujian Kekasaran Spesimen 4

Sesuai dengan **Gambar 11.** dengan parameter jenis pahat potong karbida dan kecepatan Spindel 500 rpm, didapatkan hasil pengujian kekasaran 5,972 μm .



Gambar 12. Pengujian Kekasaran Spesimen 5

Sesuai dengan **Gambar 12.** dengan parameter jenis pahat potong karbida dan kecepatan Spindel 800 rpm, didapatkan hasil pengujian kekasaran 2,856 μm .

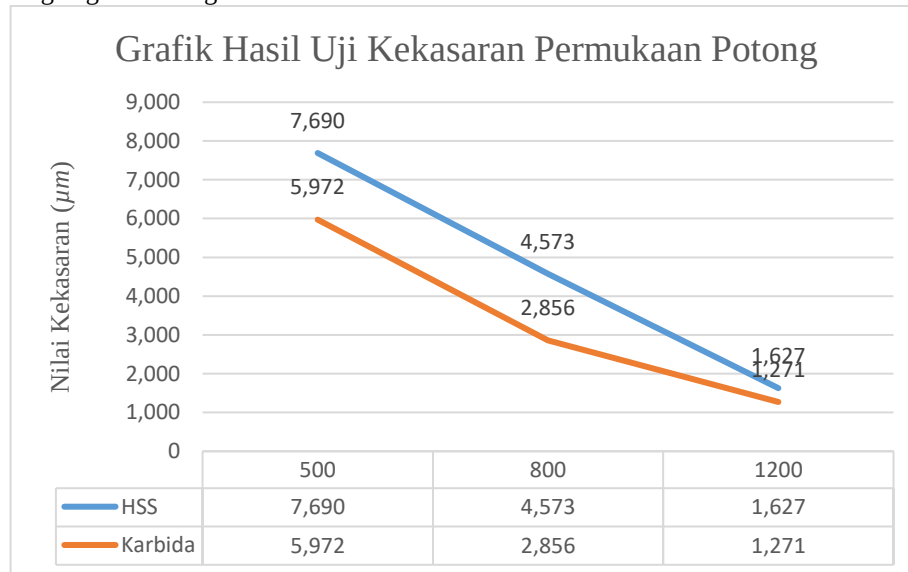


Gambar 13. Pengujian Kekasaran Spesimen 6

Sesuai dengan **Gambar 13.** dengan parameter jenis pahat potong karbida dan kecepatan Spindel 1200 rpm, didapatkan hasil pengujian kekasaran 1,271 μm .

B. Grafik dan Analisa Hasil Uji Kekasaran Permukaan Potong

Hasil dari uji kekasaran menggunakan alat *surface roughness tester*, pada variabel jenis pahat dan kecepatan spindle dapat dijelaskan dengan grafik sebagai berikut.



Gambar 14. Grafik Hasil Uji Kekasaran Permukaan potong

Dalam grafik diatas, terdapat Hasil dari uji kekasaran pada permukaan potong pada aluinium alloy 6061 didapatkan hasil kekasaran terkecil adalah pada variasi jenis pahat potong karbida dan kecepatan spindle 1200 rpm, sedangkan nilai kekasaran terbesar adalah pada variasi jenis pahat potong HSS dan kecepatan spindle 500 rpm.

Berdasarkan dengan hasil uji kekasaran dengan menggunakan pahat potong Karbida didapatkan hasil pengujian yang lebih rendah pada setiap hasilnya dari pada pahat potong HSS karena kandungan material pahat karbida yang lebih keras dan lebih tahan panas dari pada pahat HSS dan Kecepatan potong dengan rpm tinggi menghasilkan kekasaran yang rendah dibandingkan rpm rendah karena material aluminium alloy 6061 yang sifatnya lunak maka diperlukan rpm yang tinggi untuk melakukan proses pemotongannya.

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa dari “Analisa Pengaruh Material Tool dan Kecepatan Putaran Spindle Terhadap Kekasaran Permukaan Pemotongan Pada Pembubutan Alumunium Alloy 6061” dengan menggunakan alat *surface roughness tester* maka dapat di ambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai kekasaran permukaan potong proses bubut pada aluminium alloy 6061 dengan menggunakan variasi penelitian jenis pahat potong Karbida dan HSS dan variasi penelitian kecepatan spindle yang masing-masing adalah 500 rpm, 800 rpm, 1200 rpm dengan. didapatkan hasil kekasaran terkecil adalah pada variasi jenis pahat potong karbida dan kecepatan spindle 1200 rpm, sedangkan nilai kekasaran terbesar adalah pada variasi jenis pahat potong HSS dan kecepatan spindle 500 rpm.
2. Berdasarkan dengan hasil uji kekasaran dengan menggunakan pahat potong Karbida didapatkan hasil pengujian yang lebih rendah pada setiap hasilnya dari pada pahat potong HSS dan Kecepatan potong dengan rpm tinggi menghasilkan kekasaran yang rendah dibandingkan rpm rendah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih saya ucapkan kepda Progam Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sidoarjo yang telah memberikan ilmu dan wawasan yang bermanfaat serta rekan aslab, himpunan mahasiswa dan teman-teman yang telah membantu untuk menyelesaikan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] M. Anshori, P. Hartono, and U. Lesmanah, "Analisis Perbandingan Kekasaran Permukaan Pada Proses Turning," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 11, no. 01, pp. 1-6, Jan. 2019.
- [2] Z. Zaidi and S. Suhardiman, "Analisis Annealing dan Turning Terhadap Nilai Kekasaran Baja Karbon," *TEKTONIK: Jurnal Ilmu Teknik*, vol. 2, no. 1, pp. 35-46, Jan. 2024.
- [3] A. S. Shofiyullah, T. Hidayat, and P. E. Yuwita, "Analisis Pengaruh Variasi Kecepatan Spindel dan Variasi Cairan Pendingin Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Proses Turning," *INVENTOR: Journal of Science and Technology*, vol. 4, no. 1, pp. 46-51, Jan. 2024.
- [4] M. I. Maulana, M. Basjir, and A. Raharjo, "Pengaruh Nilai Kekasaran Nylon Batangan dengan Variasi Kedalaman Potong dan Sudut Pahat pada Proses Turning," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 21, no. 2, pp. 1-11, Apr. 2024.
- [5] M. Kurniawan, M. A. Irfai, and F. S. Hadi, "Variasi Feeding dan Putaran Spindle Terhadap Kekasaran Permukaan Material S40C pada Proses Surface Turning," *Jurnal MOTION (Manufaktur, Otomasi, Otomotif, dan Energi Terbarukan)*, vol. 2, no. 02, pp. 1-8, May 2024.
- [6] M. A. Firmansyah, "Pengaruh Variasi Cutting Speed Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Proses Bubut CNC ST 41 Dengan Menggunakan Pahat Type DNMG," disertasi, Universitas Islam 45, Bekasi, 2024.
- [7] T. Abdilah, "Analisa Kekasaran Permukaan Besi ST 41 Hasil Pembubutan Lurus Pengaruh Cairan Pendingin Dengan Alat Uji Surface Roughness," *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, vol. 7, no. 1, 2024.
- [8] Y. A. Sitinjak, "Analisis Pengaruh Kecepatan Putar dan Besar Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Material S40C pada Mesin CNC Turning GFIR TG45," disertasi, Universitas Mercu Buana-Buncit, 2024.
- [9] A. Gilbran, "Analisis Pengaruh Parameter Terhadap MRR dan Kekasaran Permukaan pada Benda Kerja di Mesin CNC Turning dengan Metode Taguchi," disertasi, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, 2024.
- [10] S. Haryanto, S. Stefhant, and R. D. Anjani, "Studi Pengaruh Kedalaman Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan dan Kekuatan Tarik Baja S45C Pada Proses Bubut Mesin CNC: Study of the Effect of Infeed Depth on the Surface Roughness and Tensile Strength of S45C Steel in the CNC Machine Lathe Process," *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, vol. 12, no. 1, pp. 43-52, Jan. 2024.
- [11] A. Fahrudin et. al., "Improved performance of polymer electrolyte membrane fuel cell using leaf-baffle flow field design," *Int. J. Ambient Energy*, vol. 43, no. 1, pp. 4782-4788, Jan. 2022.
- [12] F. Riyanto, E. T. Belo, and A. Fahrudin, "Pengaruh Variasi Bentuk Impeller Terhadap Debit dan Tekanan Air pada Prototipe Pompa," *REM (Rekayasa Energi Manufaktur)*, vol. 7, no. 1, 2022.
- [13] Subkhan, M. F., & Mulyadi, M. Confirmation Experiment of Friction Stir Welding Process on Aluminum Alloy Aa-6061-T6561 on Tensile Strength and Weld Penetration: Eksperimen Konfirmasi Proses Friction Stir Welding pada Material Alumunium Alloy Aa-6061-T6561 Terhadap Kekuatan Tarik dan Penetrasi Las. 2023.
- [14] M. A. I. Muslim and Iswanto, "Pengaruh Parameter Pengelasan Pada Friction Stir Welding Terhadap Sifat Mekanik Polimer Jenis Polyethylene," *Progr. Stud. Tek. Mesin, Univ. Muhammadiyah Sidoarjo*, pp. 1-9, 2023.
- [15] Mulyadi, R. Firdaus, and R. S. Untari, "Optimization of Friction Stir Welding Parameters for AA6061-T651 Aluminum Alloy: Defect Analysis and Process Improvement," *Acad. Open*, vol. 8, no. 1, pp. 1-13, doi: 10.21070/acopen.8.2023.6665. 2023.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.