

Studi Eksperimental Pengaruh Parameter Pemakanan terhadap Kekasaran Permukaan Baja AISI 1045 pada Proses Pemesinan Bubut

Jagodang Harahap^{1*}, Maulidin², Edi Saputra³, Ikbal Tanjung⁴,
& Arya Rudi Nasution⁴

^{1,2,3} Politeknik Negeri Lhokseumawe, Kota Lhokseumawe, Aceh, Indonesia

^{3,4} Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan, Indonesia

*Email: jagodang@pnl.ac.id

ABSTRACT

The quality of turning operations is strongly influenced by the surface finish. Surface roughness is a critical parameter for assessing machining performance as it directly affects wear resistance, efficiency, and the service life of components. Medium-carbon steel AISI 1045 is widely used in manufacturing industries, particularly for shafts, gears, and structural elements, due to its favourable mechanical properties. However, its surface finish is highly sensitive to machining parameters, making the selection of cutting conditions essential. This study aims to evaluate the effect of cutting speed and depth of cut on the surface roughness of AISI 1045 steel using conventional turning. Cylindrical specimens measuring $\text{Ø}30 \text{ mm} \times 80 \text{ mm}$ were machined with a carbide cutting tool under three cutting speeds (127, 225, and 510 rpm) and four depths of cut (0.2, 0.4, 0.4 and 0.6 mm). Surface roughness was measured using a Mitutoyo SJ-310 profilometer at four reference points, and the average Ra value was taken as the representative result. The findings reveal that the lowest cutting speed (127 m/min) combined with the smallest depth of cut (0.2 mm) produced the smoothest surface with $Ra = 2.388 \mu\text{m}$. In general, increasing cutting speed and depth of cut led to lower roughness values, with a maximum of $9.760 \mu\text{m}$ observed under certain extreme conditions. Several anomalies were also observed at high cutting speeds, including vibration and process instability. In conclusion, proper selection of machining parameters is crucial to achieving optimal surface quality while maintaining process efficiency. These results may serve as a practical reference for manufacturing industries in optimising the turning of AISI 1045 steel.

Keywords: Turning, AISI 1045 Steel, Spindle Speed, Depth Of Cut, Surface Roughness.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di sektor manufaktur mendorong meningkatnya tuntutan terhadap kualitas produk, baik dari segi ketelitian dimensi maupun mutu permukaan. Proses pembubutan sebagai salah satu metode pemesinan konvensional memiliki peranan penting dalam menghasilkan komponen dengan presisi tinggi. Salah satu aspek krusial dalam evaluasi hasil pembubutan adalah kekasaran permukaan (*surface roughness*), karena secara langsung memengaruhi ketahanan aus, keandalan, serta umur pakai komponen mesin [1]. Kualitas permukaan hasil pembubutan dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain kondisi mesin, karakteristik material, geometri pahat, serta parameter pemesinan yang digunakan [2]. Dari parameter tersebut, kecepatan putar pemotongan dan kedalaman pemakanan termasuk faktor dominan yang menentukan kualitas akhir benda kerja. Variasi kedua parameter ini mampu menghasilkan tingkat kerataan permukaan yang berbeda, terutama ketika diaplikasikan pada baja AISI 1045 material yang banyak digunakan dalam industri manufaktur karena kekuatan dan sifat mekaniknya yang baik [3].

Selain berimplikasi pada performa fungsional, penelitian mengenai pengaruh parameter pemesinan terhadap kekasaran permukaan juga memiliki nilai strategis dalam mendukung efisiensi proses produksi. Pemilihan parameter yang tepat tidak hanya mampu meningkatkan kualitas produk, tetapi juga dapat mengurangi biaya produksi, meminimalkan keausan pahat, dan memperpanjang umur mesin [4]. Oleh karena itu, kajian yang menitikberatkan pada hubungan antara kecepatan putar dan kedalaman pemakanan dengan kualitas permukaan benda kerja menjadi penting, baik dari perspektif akademis maupun aplikasi praktis di industri. Kualitas hasil pemesinan dapat dinilai dari kondisi permukaan yang dihasilkan. Salah satu parameter penting adalah

kekasaran permukaan, yang biasanya dinyatakan dengan nilai Ra (rata-rata aritmetis), Rz (tinggi puncak–lembah), serta parameter lain yang distandardisasi dalam industri [5]. Permukaan dengan tingkat kekasaran tinggi cenderung menimbulkan gesekan lebih besar, mempercepat keausan komponen, dan menurunkan efisiensi mekanis. Sebaliknya, permukaan yang halus dapat meningkatkan efisiensi energi, memperkecil kebutuhan pelumasan, serta memperpanjang umur pakai produk.

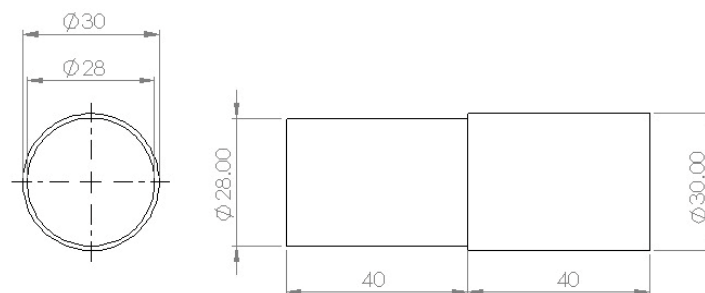
Dalam proses pemesinan, terutama pembubutan, parameter operasi memiliki pengaruh langsung terhadap kondisi akhir permukaan. *Feed rate* yang terlalu tinggi biasanya meningkatkan gaya pemotongan, getaran, dan deformasi plastis sehingga nilai kekasaran permukaan bertambah [2]. Sebaliknya, *feed rate* yang lebih rendah cenderung menghasilkan permukaan lebih halus karena gaya pemotongan lebih stabil dan getaran mesin berkurang [6,7,8]. Kedalaman potong (*depth of cut*) juga berperan penting. Pemotongan dengan kedalaman yang besar memperbesar volume material terangkat, menimbulkan tegangan potong tinggi, serta menghasilkan deformasi lebih signifikan yang berdampak pada meningkatnya kekasaran. Sebaliknya, kedalaman potong yang lebih kecil menghasilkan permukaan lebih halus meski waktu pemrosesan menjadi lebih lama [4,9]. Baja karbon menengah seperti AISI 1045 sering dipakai untuk poros, roda gigi, dan komponen struktural lain karena sifat mekaniknya yang baik. Namun, material ini sensitif terhadap variasi parameter pemotongan. Perubahan kecil pada *feed rate* maupun *depth of cut* dapat menimbulkan perbedaan signifikan pada nilai kekasaran permukaan [10,11]. Oleh karena itu, pengaturan parameter pemesinan menjadi aspek penting agar kualitas permukaan sesuai dengan standar industri.

Pengendalian kualitas permukaan tidak cukup hanya melalui pengaturan *feed rate* dan *depth of cut*. Faktor lain seperti bentuk pahat, kondisi pendinginan dan pelumasan, hingga kestabilan mesin juga memengaruhi hasil akhir. Sejumlah penelitian terkini menggunakan metode optimasi, seperti Taguchi dan *Response Surface Methodology* (RSM), untuk memperoleh kombinasi parameter terbaik yang mampu menjaga keseimbangan antara kualitas permukaan dan efisiensi produksi [9,12,13,14,15]. Pemahaman dan pengendalian kekasaran permukaan sangat penting di berbagai sektor. Pada industri otomotif, permukaan halus mengurangi gesekan antar komponen bergerak sehingga meningkatkan efisiensi. Di bidang dirgantara, permukaan dengan kualitas baik mampu meminimalkan risiko kegagalan akibat beban siklik. Sementara itu, dalam industri elektronik presisi, kontrol kekasaran permukaan memastikan kestabilan konduktivitas dan performa perangkat. Oleh sebab itu, penelitian mengenai hubungan parameter pemesinan dengan kekasaran permukaan baja AISI 1045 memiliki nilai strategis, baik untuk pengembangan ilmu maupun penerapannya di industri [16,17,18].

METODE PENELITIAN

a. Persiapan Material

- 1) Menyiapkan benda uji atau material yang akan diuji yaitu Baja AISI 1045 yang bersertifikat dengan total sebanyak 12 pcs, dimana masing-masing setiap kecepatan potong 4 pcs benda kerja yang dibubut [19,20].



Gambar 1. Dimensi Material

- 2) Menyiapkan dan melakukan proses pembubutan spesimen dengan dimensi Diameter 30 mm x panjang 80 mm pada baja AISI 1045



Gambar 2. Spesimen setelah pembubutan

3) Menentukan Variabel Parameter Pemotongan

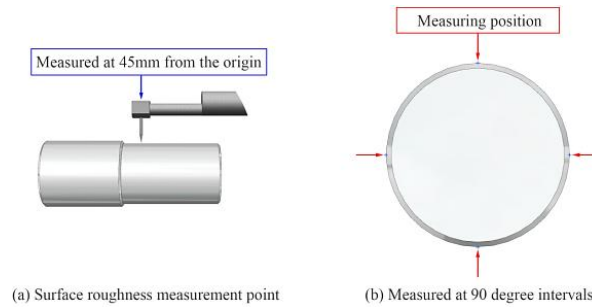
Dalam artikel ini dilakukan eksperimen pembubutan benda uji dengan kecepatan potong dan ketebalan pemakanan yang berbeda-beda. Data yang diperoleh dari penelitian ini adalah data kekasaran dengan memvariasi kecepatan potong dan kedalaman pemakanan pada baja AISI 1045. Material yang digunakan sebagai spesimen uji adalah jenis Baja AISI 1045 dengan diameter 30 mm dan panjang 80 mm, pahat bubut yang digunakan yaitu pahat Karbida.

b. Prosedur Percobaan

- 1) Atur parameter sesuai matriks desain (kecepatan, feed, depth).
- 2) Lakukan pembubutan luar tanpa cairan pendingin pada satu lintasan radial untuk tiap percobaan (misalnya pemotongan finishing pass sepanjang 30–50 mm).
- 3) Catat waktu pemotongan, kondisi chip, serta setiap kejadian getaran/ketidakstabilan.
- 4) Setelah pemotongan, bersihkan permukaan benda kerja dari cairan dan serpihan.
- 5) Ukur kekasaran permukaan dengan profilometer: ambil 4 titik pengukuran pada sumbu longitudinal permukaan (awal, tengah dan akhir) dan catat nilai Ra dan Rz; gunakan rata-rata 4 nilai sebagai hasil percobaan. Dokumentasikan kondisi geometri pahat sebelum dan sesudah uji (foto) untuk evaluasi keausan.
- 6) Pengujian kekasaran dilakukan dengan menggunakan alat uji kekasaran permukaan Mitutoyo SJ-310 dan nilai kekasaran dinyatakan dalam Ra. Alat uji kekasaran digunakan pada spesimen setelah proses pembubutan untuk mengetahui tingkat kekasaran specimen [19].



Gambar 3. Alat Ukur Pengujian Kekasaran Permukaan Mitutoyo SJ-310



Gambar 4. Representasi titik pengukuran dan metode pengukuran kekasaran permukaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini digunakan spesimen uji berbentuk silinder dengan ukuran panjang 80 mm dan diameter 30 mm, yang diproses pada mesin bubut konvensional menggunakan pahat rata berdiameter 20 mm. Setelah proses pembubutan selesai, spesimen selanjutnya diuji kekasaran permukaannya dengan memanfaatkan alat pengukur khusus yang sesuai standar pengujian. Untuk memastikan hasil pengukuran yang representatif, permukaan spesimen dibagi menjadi empat titik acuan. Titik pertama terletak pada jarak sekitar 7,5 mm dari pangkal spesimen, yaitu bagian awal saat pahat mulai melakukan pemotongan. Titik kedua berada di bagian tengah permukaan pada jarak kurang lebih 15 mm, sedangkan titik ketiga diambil di bagian akhir pemotongan, yakni sekitar 22,5 mm, dan titik keempat 30 mm dari pangkal spesimen. Berdasarkan hasil pengujian pada keempat titik tersebut, diperoleh nilai rata-rata kekasaran permukaan untuk setiap variasi parameter pemesinan. Variasi yang digunakan meliputi kecepatan pemotongan (*cutting speed*) sebesar 127 rpm, 225 rpm, dan 510 rpm, serta kedalaman potong sebesar 0,2 mm, 0,4 mm, 0,5 mm, dan 0,6 mm.

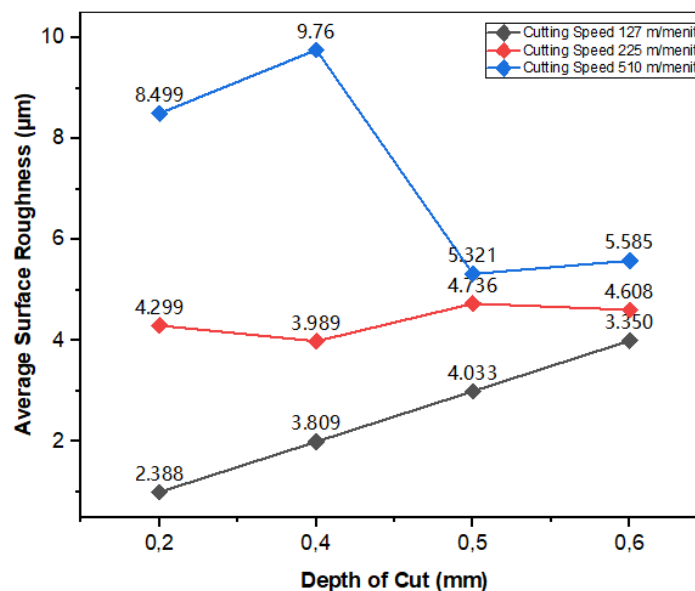
Tabel 1. Surface Roughness Test Results of AISI 1045

Specimen	Cutting speed (rpm)	Cutting Speed (m/min)	Depth of cut (mm)	Average Surface Roughness (μm)
1	1020	127	0,2	2,388
2		127	0,4	3,809
3		127	0,5	4,033
4		127	0,6	3,350
5		225	0,2	4,299
6		225	0,4	3,989
7		225	0,5	4,736
8		225	0,6	4,608
9		510	0,2	8,499
10		510	0,4	9,760
11		510	0,5	5,321
12		510	0,6	5,585
		Max		9,760
		Min		2,388

Supaya hasil pengukuran lebih representatif, tiap spesimen dibagi ke dalam empat titik uji. Titik pertama berada pada jarak 7,5 mm dari pangkal spesimen (awal lintasan pahat), titik kedua pada 15 mm, titik ketiga pada 22,5 mm, dan titik keempat pada 30 mm (akhir lintasan). Pendekatan ini digunakan untuk mengantisipasi adanya variasi kekasaran sepanjang lintasan pemotongan akibat akumulasi panas, getaran, atau perubahan kondisi pahat.

Nilai rata-rata dari keempat titik digunakan sebagai hasil akhir pengukuran untuk setiap variasi

parameter pemesinan. Tiga variasi kecepatan potong yang digunakan adalah 127 m/menit, 225 m/menit, dan 510 m/menit, dengan kedalaman pemotongan 0,2 mm, 0,4 mm, 0,5 mm, dan 0,6 mm. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan spindle dan semakin besar kedalaman potong, nilai kekasaran cenderung meningkat. Fenomena ini sesuai dengan teori pemotongan logam, di mana peningkatan kecepatan memperbesar energi panas dan risiko ketidakstabilan, sedangkan kedalaman potong yang besar menghasilkan gaya pemotongan lebih tinggi, sehingga meninggalkan permukaan yang relatif kasar. Kombinasi terbaik diperoleh pada kecepatan potong 127 m/menit dengan kedalaman potong 0,2 mm, menghasilkan nilai Ra 2,388 μm , yang masuk dalam kategori kualitas permukaan baik menurut standar ISO (kelas N7). Sebaliknya, nilai kekasaran tertinggi ditemukan pada kecepatan 510 m/menit dengan kedalaman 0,4 mm, yaitu 9,760 μm (kelas N10), yang menunjukkan kualitas permukaan kasar. Hal ini menegaskan bahwa parameter agresif tidak selalu memberikan hasil optimal, meskipun mampu mempercepat laju produksi. Selain kecenderungan umum tersebut, ditemukan anomali data, seperti pada kedalaman 0,6 mm dengan kecepatan 510 m/menit yang justru menunjukkan nilai Ra lebih rendah dibandingkan kedalaman 0,4 mm. Anomali ini diduga berkaitan dengan kestabilan chuck, getaran mesin, atau variasi kondisi penjepitan benda kerja. Temuan ini menunjukkan bahwa faktor pendukung di luar parameter utama, seperti kekakuan sistem, pendinginan, dan geometri pahat, juga berperan penting dalam kualitas permukaan.



Gambar 5. Grafik *Average Surface Roughness Test Results of AISI 1045*

Berdasarkan hasil pengujian, dapat dijelaskan lebih mendalam mengenai pengaruh variasi kecepatan potong dan kedalaman potong terhadap kekasaran permukaan (Ra). Perubahan kedua parameter ini memberikan variasi nilai Ra yang menunjukkan kondisi pemotongan paling optimal pada proses pembubutan baja karbon menengah AISI 1045.

a) Variasi Kecepatan potong (V_c)

- V_c 127 m/menit pada DoC 0,2 mm, nilai Ra yang diperoleh sebesar 2,388 μm ; meningkat menjadi 3,809 μm pada DoC 0,4 mm; dan mencapai 4,033 μm pada DoC 0,5 sebesar 4,608 μm . Rentang nilai ini berada pada kelas N7–N9, masih sesuai dengan standar ISO
- V_c 225 m/menit pada DoC 0,2 mm, nilai Ra yang diperoleh sebesar 4,299 μm ; menurun menjadi 3,989 μm pada DoC 0,4 mm; dan mencapai 4,736 μm pada DoC 0,5 sebesar 3,350 μm . Rentang nilai ini berada pada kelas N8–N9, masih sesuai dengan standar ISO
- V_c 510 m/menit pada DoC 0,2 mm, nilai Ra yang diperoleh sebesar 8,499 μm ; meningkat menjadi 9,760 μm pada DoC 0,4 mm; dan menurun mencapai 5,321 μm pada DoC 0,5 sebesar 5,582 μm . Rentang nilai ini berada pada kelas N8–N10, masih sesuai dengan standar ISO.

Secara umum, peningkatan kecepatan potong cenderung menurunkan nilai kekasaran

permukaan. Pada kecepatan 510 rpm terjadi peningkatan nilai kekasaran yang linier seiring dengan bertambahnya kecepatan potong pahat, maka bisa disimpulkan kecepatan yang paling stabil dan terukur Adalah kecepatan 510 rpm.

Kombinasi hasil terbaik pada variasi kecepatan pemotongan adalah:

- 127 m/menit, DoC 0,2 mm → Ra = 2,388 μm
- 225 m/menit, DoC 0,4 mm → Ra = 3,989 μm
- 510 m/menit, DoC 0,5 mm → Ra = 5,321 μm

Dengan demikian, kecepatan potong (127 m/menit) menghasilkan permukaan paling halus (Ra 2,388 μm), karena pemakanan yang lebih lambat membuat proses pemotongan lebih stabil dan efisien. Secara keseluruhan, semakin besar kedalaman potong, maka nilai kekasaran permukaan juga cenderung meningkat. Namun, terdapat penyimpangan pada DoC 0,4 mm dengan kecepatan pemotongan 510 rpm, di mana nilai Ra lebih tinggi daripada DoC 0,6 mm pada pemotongan yang sama. Hal ini juga dikaitkan dengan ketidakstabilan chuck saat pengujian. Secara keseluruhan, penelitian ini memperlihatkan bahwa parameter pemesinan konservatif (spindle rendah dan depth kecil) menghasilkan permukaan halus namun membutuhkan waktu produksi lebih lama, sedangkan parameter agresif mempercepat pemotongan tetapi dapat menurunkan kualitas permukaan dan mempercepat keausan alat. Implikasi praktisnya, pemilihan parameter pemesinan pada baja AISI 1045 harus mempertimbangkan keseimbangan antara kualitas permukaan, umur pahat, dan efisiensi waktu produksi.

Hasil ini penting bagi industri manufaktur yang banyak menggunakan AISI 1045 untuk poros, roda gigi, dan komponen struktural, karena dapat dijadikan acuan dalam mengoptimalkan proses pembubutan. Selain itu, penelitian lanjutan dengan metode optimasi seperti Taguchi atau *Response Surface Methodology (RSM)* direkomendasikan untuk memperoleh kombinasi parameter paling ideal secara sistematis.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi kecepatan pemotongan dan kedalaman pemotongan berperan penting terhadap tingkat kekasaran permukaan baja AISI 1045. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa kecepatan potong rendah (127 m/menit) pada kedalaman pemakanan 0,2 mm mampu menghasilkan permukaan paling halus dengan nilai Ra 2,388 μm . Sebaliknya, semakin tinggi kecepatan potong maupun semakin besar kedalaman pemakanan umumnya meningkatkan nilai kekasaran, meskipun pada kondisi tertentu terjadi penyimpangan akibat ketidakstabilan proses pemesinan. Kecenderungan ini menegaskan bahwa kombinasi parameter pemotongan yang lebih moderat memberikan hasil permukaan yang lebih baik dan stabil. Oleh karena itu, pemilihan parameter pemesinan harus disesuaikan tidak hanya untuk mencapai kualitas permukaan sesuai standar industri, tetapi juga untuk menjaga efisiensi proses serta memperpanjang umur pakai peralatan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. N. F. Haely, H. Abizar, S. D. Ramdani, H. Abdillah, and A. Setiawan, "Effect of spindle speed and depth of cut on AISI 1045 material roughness on turning process," in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., Mar. 2023. doi: 10.1063/5.0114503.
- [2] K. Mubarak, A. Saputro, and I. Mustajib, "Exploratory Investigation on the Influence of Machining Parameters on Surface Roughness and Tool Wear in the Turning Process of Steel ST-42," vol. 08, no. 01, pp. 1–6, 2023.
- [3] Mudjijanto, Sulistyono, and Rusnaldy, "Analysis of chip geometry and surface roughness at low speed turning in various commercial steels," in *MATEC Web of Conferences*, EDP Sciences, Mar. 2018. doi: 10.1051/mateconf/201815902018.
- [4] M. S. Y. Lubis, H. B. Kusuma, M. Sadikin, M. M. Anjhany, F. Wijaya, and S. Ariyanti, "Effect of Cutting Parameters in the Turning Process towards the Surface Roughness of AISI D3 Materials," *Semarak International Journal of Material Research*, vol. 2, no. 1, pp. 12–24, Feb. 2025, doi: 10.37934/sijmr.2.1.1224.

- [5] I. S. Kang and T. H. Lee, "Influence of the Material Mechanical Properties on Cutting Surface Quality during Turning," *Processes*, vol. 12, no. 6, Jun. 2024, doi: 10.3390/pr12061171.
- [6] M. Jacas-Cabrera, T. Rodríguez-Moliner, J. Luís, and L.-D. Silveira, "The influence of cutting speed and feed rate in surface integrity of AISI 1045 Influencia de la velocidad de corte y la velocidad de avance en la integridad superficial del acero AISI 1045," *Ingeniería Mecánica*, vol. 18, no. 3, pp. 203–210, 2015, [Online]. Available: <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu203>
- [7] J. Rekayasa Material, M. dan Energi, S. Agung Bintoro, A. Rudi Nasution, R. Fauzi Siregar, and J. Harahap, "Effect of Spindle Speed on the Bending Test of Al-1100 in Fraction Stir Welding Joints," vol. 8, no. 2, 2025, doi: 10.30596/rmme.v8i2.25522.
- [8] J. Harahap, T. Riyadhshyah, J. Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe, and J. Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe, "Pembuatan Material Pereduksi Panas Eco-Friendly Berbasis Komposit dengan Memanfaatkan Ampas Sagu," *Jurnal Mekanova: Mekanikal, Inovasi dan Teknologi*, vol. 11, no. 1, 2025.
- [9] A. Afriansyah and D. M. Yanis, "Analisis Parameter Pemesinan Pada Proses Side Milling Baja AISI 1045 Menggunakan Response Surface Methodology (RSM)," 2021.
- [10] A. A. Aji *et al.*, "Analysis Of The Effect Of Machining Variables On Surface Roughness And Vibration Amplitude In Turning AISI 1045 Steel Using The Taguchi Method," No. 1, pp. 53–62, 2025, doi: 10.62668/phenomenon.v3i01.1406.
- [11] J. Harahap, K. Mizan, and P. Pribadyo, "Analisis Distribusi Tegangan Pada Sistem Suspensi Depan Minibus Dengan Beban Bervariasi," *Austenit*, vol. 16, no. 1, pp. 48–54, May 2024, doi: 10.53893/austenit.v16i1.8558.
- [12] A. A. R. R. P. S. A. Wafiq Azhari, "Pengaruh Surface Roughness pada Material AISI 1045 dan AISI 4140 Akibat Proses Permesinan Bubut," *Malikussaleh Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 7, no. 1, p. 74, Apr. 2023, doi: 10.29103/mjmst.v7i1.12429.
- [13] G. Akhyar, C. Septiani, A. Hamni, Y. Burhanuddin, S. Harun, and A. Kusnadi, "Optimasi Parameter Pemesinan Ulir Material Titanium Ti-6al-4v Eli Terhadap Jarak Pitch dan Sudut Ulir Menggunakan Metode Taguchi," *Jurnal Mesin Nusantara*, vol. 6, no. 2, pp. 117–126, Dec. 2023, doi: 10.29407/jmn.v6i2.20182.
- [14] J. Rekayasa Material *et al.*, "Karakteristik Gugus Fungsi dan Kekuatan Impak Material Komposit Berpenguat Serat Serbuk Daun Nanas," vol. 8, no. 2, 2025, doi: 10.30596/rmme.v8i2.25533.
- [15] J. Rekayasa Material *et al.*, "Iot-Based Real-Time Monitoring System For Enhancing Shrimp Pond Management: A Case Study In Deli Serdang, North Sumatra, Indonesia," vol. 8, no. 2, 2025, doi: 10.30596/rmme.v8i2.24543.
- [16] N. A. Mahbubah *et al.*, "Optimization of CNC Turning Parameters for cutting Al6061 to Achieve Good Surface Roughness Based on Taguchi Method," *Journal of Advanced Research in Applied Mechanics Journal homepage*, vol. 99, pp. 1–9, 2022, [Online]. Available: <http://www.akademiabaru.com/submit/index.php/aram/index>
- [17] ASME B46.1 - 2009, *The American National Standard for Surface Texture (Surface Roughness, Waviness, and Lay)*. 2009. [Online]. Available: <http://cstools.asme.org>
- [18] J. Harahap, T. E. Putra, and A. R. Nasution, "Analisis Mesh Size Untuk Konvergensi Coil Spring Roda Depan Minibus Menggunakan Metode Elemen Hingga," *Jurnal Mekanova: Mekanikal, Inovasi dan Teknologi*, vol. 11, no. 1, 2025.
- [19] ASME B46.1 - 2019, *Surface Roughness, Waviness, and Lay*. 2019.
- [20] ISO 4287:1997/DAM 2, *Geometrical Product Specifications (GPS)-Surface texture: Profile method-Terms, definitions and surface texture parameters AMENDMENT 2: Parameters Xsm and Xc Spécification géométrique des produits (GPS)-État de surface: Méthode du profil-Terms, définitions et paramètres d'état de surface Amendement 2 Iso/Cen Parallel Processing*. 2013. [Online]. Available: www.iso.org