

Pengaruh Kedalaman Potong dan Susdut Mata Pahat Terhadap Nilai Kekasaran Permukaan Pada Proses Pembubutan

Dafot Clestial Sinaga

Universitas Tarumanagara, Indonesia

Email: davotasinaga@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kedalaman potong dan nose radius terhadap kekasaran permukaan pada proses pembubutan material VCL 150. Pemilihan material ini didasarkan pada karakteristik mekaniknya yang cocok untuk aplikasi industri manufaktur, terutama pada komponen yang memerlukan kualitas permukaan tinggi seperti poros dan shaft. Penelitian ini menguji beberapa parameter, termasuk kedalaman potong (0,1 mm, 0,2 mm, 0,3 mm) dan nose radius (0,4 mm, 0,8 mm, 1,2 mm), serta feed rate (0,05 mm/rev, 0,07 mm/rev, 0,09 mm/rev). Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin bubut, dan nilai kekasaran permukaan diukur menggunakan alat roughness tester dengan standar ISO 4287. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedalaman potong yang lebih besar dan feed rate yang lebih tinggi menyebabkan peningkatan nilai kekasaran permukaan (R_a), sementara nose radius yang lebih besar cenderung menghasilkan permukaan yang lebih halus. Kombinasi optimal yang memberikan hasil permukaan paling halus adalah kedalaman potong 0,1 mm, feed rate 0,05 mm/rev, dan nose radius 1,2 mm. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam bidang manufaktur untuk menentukan parameter pemrosesan yang dapat meningkatkan kualitas permukaan produk, terutama dalam aplikasi pembubutan dengan toleransi presisi tinggi.

Kata Kunci: Pembubutan, Kekasaran Permukaan, Kedalaman Potong, Nose Radius, Feed Rate, VCL 150.

ABSTRACT

This study aims to analyze the effect of cutting depth and nose radius on surface roughness in the turning process of VCL 150 material. This material was selected based on its mechanical characteristics, which are suitable for industrial manufacturing applications, particularly for components requiring high surface quality, such as shafts and axles. This study tested several parameters, including cutting depth (0.1 mm, 0.2 mm, 0.3 mm), nose radius (0.4 mm, 0.8 mm, 1.2 mm), and feed rate (0.05 mm/rev, 0.07 mm/rev, 0.09 mm/rev). Testing was conducted using a lathe, and surface roughness was measured using a roughness tester complying with ISO 4287 standards. The results showed that a greater cutting depth and higher feed rate increased the surface roughness (R_a), while a larger nose radius tended to produce a smoother surface. The optimal combination that produced the smoothest surface was a cutting depth of 0.1 mm, a feed rate of 0.05 mm/rev, and a nose radius of 1.2 mm. This research provides an important contribution to the manufacturing field by determining machining parameters that can improve product surface quality, particularly in turning applications with high precision tolerances.

Keywords: Turning, Surface Roughness, Depth Of Cut, Nose Radius, Feed Rate, VCL 150.



PENDAHULUAN

Industri manufaktur mengalami peningkatan seiring berjalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, hal ini dapat dilihat dari peningkatan hasil produksi (Kamble et al., 2018). Dengan ini peningkatan hasil produksi harus diimbangi dengan peningkatan kualitas hasil produksi (Tortorella & Fettermann, 2018). Dengan adanya mesin-mesin produksi hal ini

dapat membantu meningkatkan kualitas produksi dalam pembuatan komponen-komponen pada mesin (Lu, Papagiannidis, & Alamanos, 2018). Salah satu hal yang penting dalam pembuatan komponen-komponen mesin di industri manufaktur adalah pengerjaan logam yang di mana pengerjaan logam akan semakin efisien dengan ketelitian yang tinggi (Mayer, Hausotte, & Knapp, 2019; Xu et al., 2021; Singh et al., 2020; Yoon et al., 2022).

Berdasarkan pengalaman di lapangan untuk mendapatkan kualitas pemotongan yang baik diperlukan pemilihan komponen yang baik pula (Kumar et al., 2019). Pemilihan komponen yang dimaksud adalah pengaruh yang signifikan terhadap proses pemakanan benda kerja (Davim & Parameswaran, 2021). Mata pahat merupakan salah satu bagian utama yang berpengaruh terhadap proses pemakanan benda kerja selain dari mesin bubut dan benda kerja (Sahoo et al., 2020). Mempertimbangkan hal tersebut material yang digunakan dalam penelitian adalah material baja karbon rendah (VCL150), karena benda kerja tersebut paling sering dipakai dalam pembuatan komponen pemesinan (Das et al., 2021), dan mampu dikerjakan serta mudah didapat di pasaran (Bouزيد & Yallese, 2020; Bensouilah et al., 2018; Çolak, 2022).

Mengingat begitu pentingnya kekasaran permukaan pada komponen terutama pada poros, maka diperlukan produk yang mampu memiliki kekasaran yang sesuai dengan kriteria (Agrawal et al., 2018). Adapun faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kekasaran antara lain kondisi mesin bubut, kecepatan potong, kedalaman potong, kedalaman pemakanan, jenis mata pahat, bahan benda kerja, sudut pemotongan, serta operator dan pendinginan (Bouزيد et al., 2019; Darwish et al., 2021). Pemilihan bahan baku juga berpengaruh pada proses pembubutan terutama berkaitan terhadap kekasaran permukaan (Santos et al., 2018; Thakur et al., 2020). Ketepatan dalam pemilihan baja dan penggunaan mata pahat diperkirakan menghasilkan kehalusan yang maksimal (Kumar & Chauhan, 2021; Sharma et al., 2022).

Penelitian mengenai kualitas hasil pemesinan, khususnya terkait kekasaran permukaan, telah banyak dilakukan sebelumnya. Menurut BAHRI & Cebro (2024; 2025), kekasaran permukaan sangat dipengaruhi oleh parameter pemotongan seperti kecepatan potong, kedalaman pemotongan, dan sudut pahat, di mana kombinasi parameter yang tidak optimal dapat menurunkan kualitas hasil pemesinan. Sementara itu, penelitian oleh Burrahman (2024) menemukan bahwa jenis material pahat dan kondisi pendinginan berpengaruh signifikan terhadap ketelitian dimensi serta kekasaran permukaan benda kerja pada proses pembubutan baja karbon. Kedua penelitian tersebut menunjukkan pentingnya pemilihan parameter pemotongan dan kondisi pemesinan dalam menghasilkan kualitas permukaan yang sesuai standar.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan antara pemilihan material baja karbon rendah dan penggunaan mata pahat terhadap hasil kekasaran permukaan. Adapun manfaat penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis bagi industri manufaktur dalam meningkatkan kualitas hasil pemesinan serta menjadi referensi akademis untuk penelitian lanjutan terkait optimasi parameter pembubutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan termasuk dalam kategori penelitian kuantitatif karena berfokus pada pengukuran numerik dan analisis statistik untuk memahami hubungan antara variabel-variabel yang diteliti. Dalam penelitian ini, variabel bebas seperti kedalaman potong, sudut

pahat, kecepatan potong, dan feed rate divariasikan untuk melihat pengaruhnya terhadap kekasaran permukaan (R_a , μm) yang merupakan variabel terikat. Data yang diperoleh dari pengujian akan dikumpulkan dalam bentuk angka dan dianalisis menggunakan metode statistik untuk menentukan signifikansi pengaruh masing-masing variabel. Dengan adanya pengulangan eksperimen dan pengolahan data secara matematis, penelitian ini bersifat objektif dan bebas dari interpretasi subjektif. Oleh karena itu, berdasarkan karakteristiknya, penelitian ini dikategorikan sebagai penelitian kuantitatif karena menghasilkan data yang dapat dianalisis secara statistik guna menemukan hubungan antara variabel-variabel yang diteliti.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Kekasaran Permukaan

Berikut merupakan hasil data yang telah dikumpulkan dari proses pembubutan pada material VCL 150 dengan parameter yang sudah ditentukan sebelumnya. Hasil pada tabel di bawah merupakan hasil uji kekasaran permukaan setelah proses pembubutan.

Tabel 1. Hasil Pengujian

No	Nose radius (mm)	Feed (mm/rev)	ap (mm)	Pengukuran Nilai Kekasaran Permukaan (μm)					Ra Rata-rata (μm)
				Ra1	Ra2	Ra3	Ra4	Ra5	
1	0.4	0.05	0.1	0.64	0.68	0.66	0.65	0.63	0.652
2	0.4	0.07	0.2	0.79	0.83	0.81	0.80	0.78	0.802
3	0.4	0.09	0.3	0.94	0.98	0.96	0.95	0.93	0.952
4	0.8	0.05	0.1	0.44	0.48	0.47	0.46	0.45	0.460
5	0.8	0.07	0.2	0.58	0.60	0.59	0.57	0.61	0.590
6	0.8	0.09	0.3	0.70	0.74	0.72	0.71	0.73	0.720
7	1.2	0.05	0.1	0.33	0.36	0.35	0.34	0.32	0.340
8	1.2	0.07	0.2	0.50	0.53	0.52	0.51	0.49	0.510
9	1.2	0.09	0.3	0.62	0.65	0.63	0.64	0.66	0.640

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa nilai kekasaran permukaan (R_a) bervariasi tergantung pada kombinasi parameter pembubutan yang digunakan, yaitu feed rate, depth of cut, dan nose radius. Variasi ini menunjukkan bahwa masing-masing parameter berpotensi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap hasil akhir permukaan. Untuk memahami lebih lanjut bagaimana setiap parameter tersebut memengaruhi kekasaran permukaan secara individual, pembahasan akan dilanjutkan pada sub-bab berikutnya.

Pengaruh Kedalaman Potong terhadap Kekasaran Permukaan

Kedalaman potong merupakan salah satu parameter penting yang memengaruhi gaya potong, suhu pemesian, serta karakteristik permukaan benda kerja. Oleh karena itu, analisis terhadap parameter ini diperlukan untuk mengetahui bagaimana perubahan kedalaman potong berdampak pada kualitas permukaan akhir.

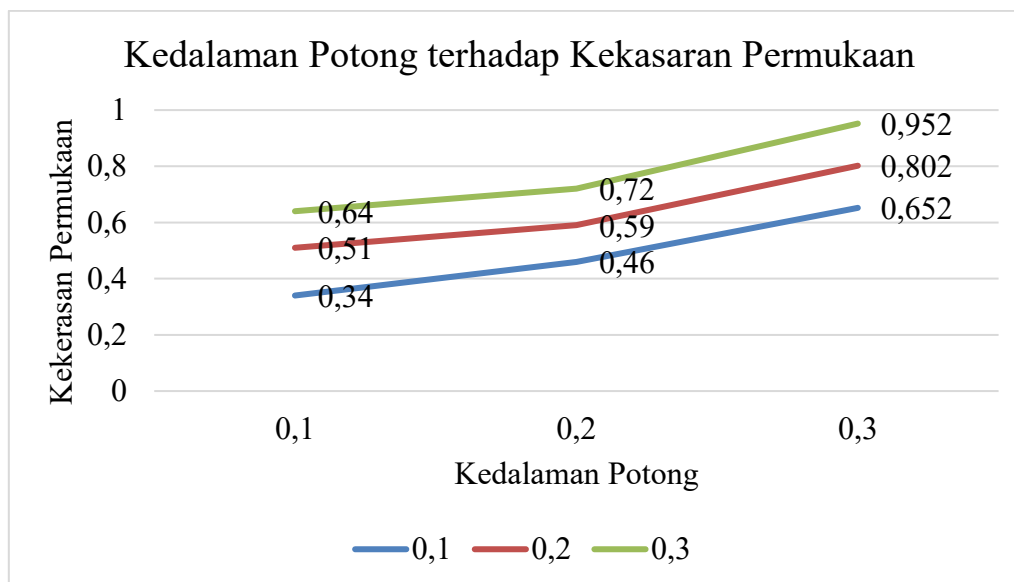
Tabel 2. Hasil Pengukuran Nilai Kekasaran Permukaan dengan Kedalaman Potong

No	ap (mm)	Pengukuran Nilai Kekasaran Permukaan (μm)					Ra Rata-rata (μm)
		Ra1	Ra2	Ra3	Ra4	Ra5	
1	0.1	0.64	0.68	0.66	0.65	0.63	0.652

No	ap (mm)	Pengukuran Nilai Kekasaran Permukaan (μm)					Ra Rata-rata (μm)
		Ra1	Ra2	Ra3	Ra4	Ra5	
2	0.2	0.79	0.83	0.81	0.80	0.78	0.802
3	0.3	0.94	0.98	0.96	0.95	0.93	0.952
4	0.1	0.44	0.48	0.47	0.46	0.45	0.460
5	0.2	0.58	0.60	0.59	0.57	0.61	0.590
6	0.3	0.70	0.74	0.72	0.71	0.73	0.720
7	0.1	0.33	0.36	0.35	0.34	0.32	0.340
8	0.2	0.50	0.53	0.52	0.51	0.49	0.510
9	0.3	0.62	0.65	0.63	0.64	0.66	0.640

Tabel 2 menunjukkan hubungan antara kedalaman potong (depth of cut) dengan nilai kekasaran permukaan (Ra) pada berbagai konfigurasi nose radius dan feed rate. Secara umum, terlihat bahwa peningkatan kedalaman potong dari 0,1 mm hingga 0,3 mm cenderung meningkatkan nilai Ra. Misalnya, untuk nose radius 0,4 mm dan feed rate 0,05 mm/rev, kekasaran meningkat dari 0,652 μm menjadi 0,952 μm . Hal ini menunjukkan bahwa volume material yang disayat memengaruhi gaya potong dan temperatur di zona potong, yang pada akhirnya berdampak pada deformasi plastis dan topografi permukaan yang dihasilkan.

Peningkatan kedalaman potong juga memperbesar luas kontak antara pahat dan benda kerja, yang menambah gaya gesek dan menyebabkan peningkatan getaran selama proses pemotongan. Akumulasi energi termal dan mekanis tersebut dapat mengganggu kestabilan proses pemotongan sehingga menghasilkan permukaan dengan kualitas lebih kasar. Fenomena ini telah dijelaskan oleh Taran et al. bahwa semakin dalam pemotongan, maka kecenderungan terjadinya built-up edge dan defleksi alat meningkat, yang memperburuk kekasaran permukaan.



Gambar 1. Kedalaman Potong terhadap Kekasaran Permukaan

Gambar 1 mengilustrasikan tren peningkatan nilai kekasaran permukaan seiring dengan bertambahnya kedalaman potong. Kurva menunjukkan pola kenaikan linear dari Ra 0,34 μm pada kedalaman 0,1 mm hingga Ra 0,952 μm pada kedalaman 0,3 mm. Peningkatan ini

konsisten untuk ketiga variasi nose radius, yang menunjukkan bahwa kedalaman potong adalah salah satu parameter utama yang memengaruhi kualitas akhir permukaan dalam proses pembubutan. Hal ini juga didukung oleh studi Outeiro et al., yang menyebutkan bahwa peningkatan kedalaman potong akan meningkatkan tekanan pada zona potong dan menghasilkan permukaan dengan pola alur yang lebih dalam .

Kecenderungan grafik menunjukkan bahwa semakin tinggi kedalaman pemotongan, permukaan menjadi lebih kasar karena meningkatnya gaya pemotongan dan kemungkinan getaran. Dalam konteks ini, penting untuk menjaga keseimbangan antara produktivitas dan kualitas permukaan, terutama ketika prioritas berada pada toleransi geometris dan finishing. Oleh karena itu, pada proses finishing, disarankan menggunakan kedalaman potong kecil untuk meminimalkan cacat permukaan.

Pengaruh Nose radius terhadap Kekasaran Permukaan

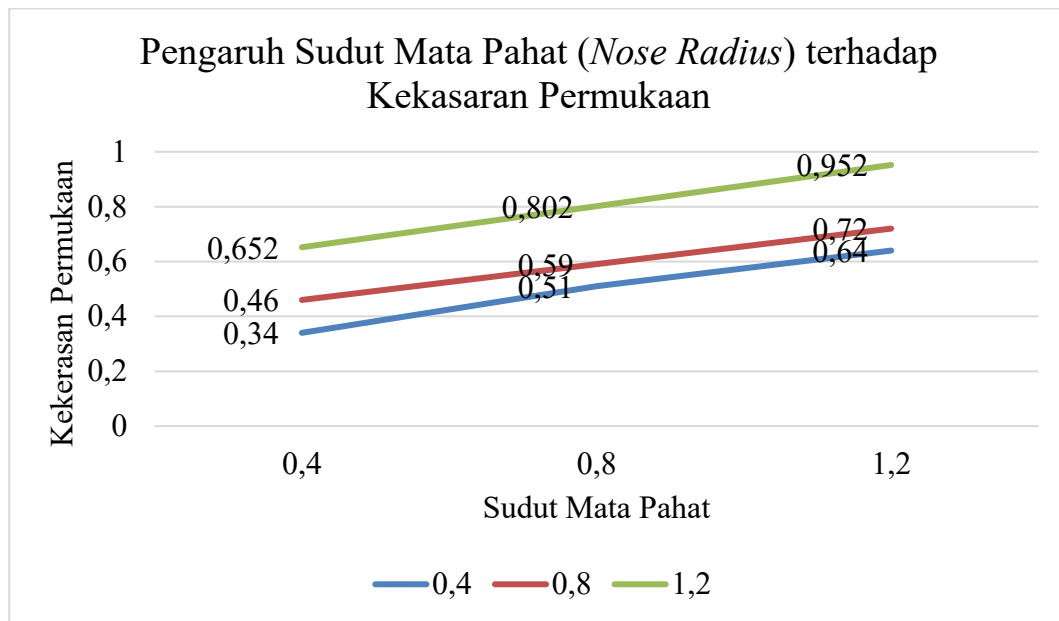
Nose radius memegang peranan penting dalam menentukan bentuk alur pemotongan dan kestabilan proses. Melalui analisis ini, diharapkan dapat diketahui kecenderungan pengaruh besar-kecilnya radius mata pahat terhadap tingkat kehalusan permukaan yang dihasilkan.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Nose radius terhadap Kekasaran Permukaan

No	Nose radius (mm)	Pengukuran Nilai Kekasaran Permukaan (μm)					Ra Rata- rata (μm)
		Ra1	Ra2	Ra3	Ra4	Ra5	
1	0.4	0.64	0.68	0.66	0.65	0.63	0.652
2	0.4	0.79	0.83	0.81	0.80	0.78	0.802
3	0.4	0.94	0.98	0.96	0.95	0.93	0.952
4	0.8	0.44	0.48	0.47	0.46	0.45	0.460
5	0.8	0.58	0.60	0.59	0.57	0.61	0.590
6	0.8	0.70	0.74	0.72	0.71	0.73	0.720
7	1.2	0.33	0.36	0.35	0.34	0.32	0.340
8	1.2	0.50	0.53	0.52	0.51	0.49	0.510
9	1.2	0.62	0.65	0.63	0.64	0.66	0.640

Tabel 3 memperlihatkan bahwa peningkatan nilai nose radius dari 0,4 mm ke 1,2 mm cenderung menurunkan kekasaran permukaan. Nilai rata-rata Ra menurun dari 0,952 μm pada radius 0,4 mm menjadi 0,340 μm pada radius 1,2 mm. Hal ini menunjukkan bahwa pahat dengan nose radius lebih kecil mampu menghasilkan permukaan yang lebih halus karena kurva pemotongan menjadi lebih melandai dan transisi antar puncak lebih halus. Nose radius yang besar membantu mengurangi amplitudo getaran dan distribusi tekanan yang lebih merata pada area pemotongan.

Selain itu, nose radius yang besar juga mampu menahan beban pemotongan yang lebih baik sehingga mengurangi defleksi alat dan meningkatkan kestabilan proses. Hal ini mengakibatkan jejak pahat yang lebih konsisten dan minim cacat. Sejalan dengan penelitian oleh Roza (2023) , pahat dengan radius besar cenderung menghasilkan topografi permukaan yang lebih baik dalam aplikasi finishing karena interaksi yang lebih stabil dengan permukaan benda kerja.



Gambar 2. Pengaruh Nose radius terhadap Kekasaran Permukaan

Gambar 2 menunjukkan tren penurunan nilai kekasaran permukaan (Ra) seiring dengan peningkatan nose radius dari 0,4 mm ke 1,2 mm. Kurva menurun secara konsisten dari nilai Ra 0,952 μm pada radius terkecil hingga mencapai Ra 0,340 μm pada radius terbesar. Ini menegaskan bahwa nose radius yang lebih kecil memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kualitas permukaan. Radius besar mengurangi tekanan puncak dan mendorong terbentuknya permukaan dengan deformasi plastis yang lebih merata.[7]

Pengaruh nose radius dalam grafik ini juga menandakan pentingnya pemilihan pahat yang tepat pada proses finishing. Untuk mendapatkan permukaan yang halus, penggunaan nose radius kecil menjadi pilihan utama karena mampu menghasilkan profil alur yang lebih tumpul dan mengurangi ketidakrataan permukaan akibat getaran dan keausan pahat. Grafik ini mendukung strategi pemotongan presisi tinggi yang mengutamakan kestabilan dan ketajaman hasil akhir.[15]

Pengaruh Feed Rate terhadap Kekasaran Permukaan

Feed rate atau laju pemakanan merupakan parameter yang menentukan seberapa cepat pahat bergerak memotong material per satuan putaran. Pada sub-bab ini akan dianalisis pengaruh feed rate terhadap kekasaran permukaan. Variasi feed rate akan menunjukkan bagaimana laju pemotongan memengaruhi jarak antar jejak pemotongan dan kualitas akhir dari permukaan benda kerja.[16]

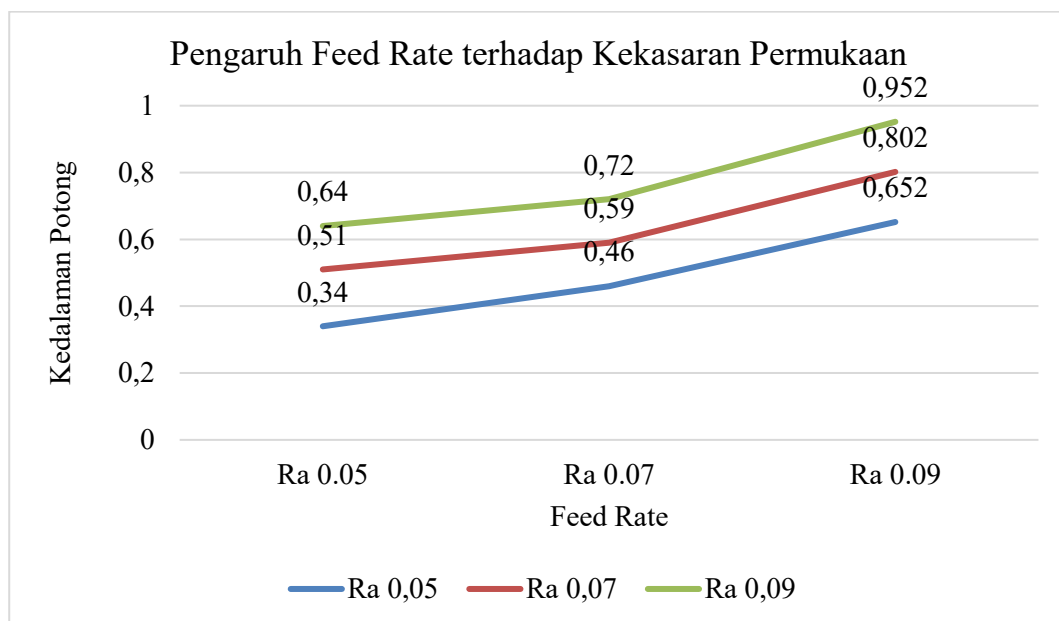
Tabel 4. Hasil Pengukuran Nilai Feed Rate terhadap Kekasaran Permukaan

No	Nose radius (mm)	Pengukuran Nilai Kekasaran Permukaan (μm)					Ra Rata-rata (μm)
		Ra1	Ra2	Ra3	Ra4	Ra5	
1	0.4	0.64	0.68	0.66	0.65	0.63	0.652
2	0.4	0.79	0.83	0.81	0.80	0.78	0.802
3	0.4	0.94	0.98	0.96	0.95	0.93	0.952

No	Nose radius (mm)	Pengukuran Nilai Kekasaran Permukaan (μm)					Ra Rata-rata (μm)
		Ra1	Ra2	Ra3	Ra4	Ra5	
4	0.8	0.44	0.48	0.47	0.46	0.45	0.460
5	0.8	0.58	0.60	0.59	0.57	0.61	0.590
6	0.8	0.70	0.74	0.72	0.71	0.73	0.720
7	1.2	0.33	0.36	0.35	0.34	0.32	0.340
8	1.2	0.50	0.53	0.52	0.51	0.49	0.510
9	1.2	0.62	0.65	0.63	0.64	0.66	0.640

Tabel 4 menunjukkan bahwa feed rate berpengaruh signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan. Peningkatan feed rate dari 0,05 mm/rev menjadi 0,09 mm/rev menyebabkan peningkatan nilai Ra dari 0,652 μm menjadi 0,952 μm . Peningkatan jarak antar alur potong karena kenaikan feed rate membuat permukaan menjadi lebih bergelombang dan kasar. bahwa feed rate adalah parameter dominan dalam menentukan karakteristik topografi permukaan karena memengaruhi bentuk dan jarak antar puncak alur pahat .

Dalam konteks ini, feed rate rendah sangat direkomendasikan untuk operasi finishing guna menghasilkan permukaan yang lebih halus. Selain meminimalkan getaran, feed rate kecil juga mengurangi gaya potong dan memperpanjang umur pahat. Berdasarkan pengamatan tabel, hasil konsisten menunjukkan bahwa kombinasi feed rate rendah dan nose radius kecil adalah kombinasi optimal untuk kualitas permukaan yang tinggi .[17]



Gambar 3. Pengaruh Feed Rate terhadap Kekasaran Permukaan

Gambar 3 memperlihatkan pola kenaikan nilai kekasaran permukaan secara bertahap ketika feed rate meningkat dari 0,05 mm/rev ke 0,09 mm/rev. Kenaikan ini linier dan konsisten, menegaskan bahwa semakin tinggi laju pemakanan, semakin besar pula jejak alur pemotongan yang ditinggalkan oleh pahat, yang menunjukkan bahwa feed rate tinggi menyebabkan meningkatnya amplitudo gelombang permukaan akibat peningkatan jarak antar langkah pemotongan.

Gambar ini menunjukkan pentingnya kontrol terhadap feed rate dalam operasi yang mengutamakan kehalusan permukaan. Pada feed rate yang tinggi, vibrasi dan deformasi material di sekitar zona potong menjadi lebih tidak terkendali, yang berdampak negatif terhadap hasil akhir. Oleh karena itu, feed rate yang rendah perlu dipertimbangkan untuk menjaga nilai kekasaran permukaan tetap rendah dan konsisten, terutama dalam industri dengan spesifikasi toleransi presisi tinggi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh parameter proses pembubutan terhadap kekasaran permukaan material VCL 150, dapat disimpulkan bahwa kedalaman potong, feed rate, dan nose radius memiliki kontribusi signifikan terhadap kualitas permukaan akhir. Peningkatan kedalaman potong dan feed rate menyebabkan peningkatan nilai kekasaran permukaan (R_a) akibat meningkatnya gaya pemotongan dan getaran selama proses pemesinan. Sebaliknya, peningkatan nose radius memberikan efek positif dengan menurunkan nilai R_a secara signifikan, karena bentuk pahat yang lebih tumpul menghasilkan alur pemotongan yang lebih halus dan stabil. Oleh karena itu, kombinasi parameter pemotongan yang optimal sangat penting untuk mencapai hasil permukaan yang sesuai dengan standar finishing. Secara umum, nilai kekasaran permukaan terendah diperoleh pada konfigurasi kedalaman potong 0,1 mm, feed rate 0,05 mm/rev, dan nose radius 1,2 mm, yang menghasilkan hasil paling halus berkat minimnya volume material yang disayat per langkah dan bentuk pahat yang mendukung pemotongan stabil. Temuan ini menunjukkan bahwa untuk mendapatkan kualitas permukaan terbaik, terutama pada proses finishing, parameter pemotongan harus diatur dengan hati-hati dan disesuaikan dengan kebutuhan produksi. Pemilihan parameter yang tepat tidak hanya mempengaruhi kualitas permukaan, tetapi juga efisiensi proses, umur pahat, dan biaya manufaktur secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal, C., Singh, R. K., & Tiwari, M. K. (2018). Modeling and optimization of surface roughness in turning of hardened steel using hybrid techniques. *Journal of Manufacturing Processes*, 34, 93–101. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2018.06.009>
- BAHRI, C. (2024). *Efek Kecepatan Pemotongan Pada Proses Bubut Baja St 41 Terhadap Kekasaran Permukaan Menggunakan Pahat Karbida Dengan Sudut Mata Pahat Berbeda*. Fakultas Teknik, Universitas Islam Sumatera Utara.
- Burrahman, M., Mawardi, M., Murtadhahadi, M., & Sumardi, S. (2024). Pengaruh Variasi Putaran Spindel Dan Kedalaman Pemotongan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja AISI 4340 Pada Proses Bubut Konvensional. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 8(2), 104–109.
- Bensouilah, H., Yallese, M. A., Meddour, I., Khattabi, R., & Mabrouki, T. (2018). Performance of coated and uncoated carbide tools in hard turning of AISI 4140 steel with different cutting conditions. *Journal of Manufacturing Processes*, 34, 210–220. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2018.05.033>
- Bouزيد, S., & Yallese, M. A. (2020). Machinability of carbon steels: A comparative study of tool wear and surface integrity. *Wear*, 460–461, 203472. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2020.203472>
- Bouزيد, S., Yallese, M. A., Belhadi, S., & Mabrouki, T. (2019). Comparative assessment of cutting tool performances in hard turning of AISI 52100 bearing steel. *Wear*, 426–427,

- 132–145. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.01.037>
- Cebro, I. S., Alfathier, A., Juhan, N., Fakhriza, F., & Martunis, M. (2025). Pengaruh Parameter Pemotongan Mesin Bubut CNC TU-2A Retrofit Terhadap Kekasaran Permukaan dan Keselindrisan. *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 8(1), 142–148.
- Çolak, O. (2022). Machinability of low carbon steels: Influence of cutting parameters on surface roughness and tool life. *Materials Today: Proceedings*, 62, 5412–5418. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.384>
- Darwish, S. M., Al-Jumaily, H. S., & Mohammed, M. K. (2021). Influence of cutting speed and feed rate on surface roughness in turning operations of EN31 alloy steel. *Materials Today: Proceedings*, 42, 2306–2311. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.780>
- Das, S. R., Panda, A., & Dhupal, D. (2021). Experimental investigation of tool wear and surface roughness in turning of hardened steel under minimum quantity lubrication. *Measurement*, 177, 109325. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109325>
- Davim, J. P., & Parameswaran, P. (2021). Machining of steels: Advances in tool performance and workpiece quality. *Procedia CIRP*, 101, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.02.001>
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Gawankar, S. A. (2018). Industry 4.0 and lean manufacturing practices for sustainable organizational performance in Indian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2958–2976. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1395488>
- Kumar, A., & Chauhan, S. R. (2021). Machining of EN 36 steel under dry and MQL conditions: An experimental investigation of surface roughness and tool wear. *Measurement*, 185, 110059. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.110059>
- Kumar, R., Singh, T., & Saini, N. (2019). Optimization of cutting parameters for surface roughness and tool wear in turning of EN8 steel. *Materials Today: Proceedings*, 18(3), 1184–1192. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.06.466>
- Lu, Y., Papagiannidis, S., & Alamanos, E. (2018). Internet of Things: A systematic review of the business literature from the user and organisational perspectives. *Technological Forecasting and Social Change*, 136, 285–297. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.01.022>
- Mayer, J., Hausotte, T., & Knapp, W. (2019). Recent developments in dimensional metrology. *CIRP Annals*, 68(2), 727–750. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.05.002>
- Roza, F. (2023). Pengaruh Kecepatan Potong Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Pembubutan Baja Stainless Steel Dengan Menggunakan Mata Pahat Karbida Berlapis. Fakultas Teknik Universitas Islam Sumatera Utara.
- Sahoo, A. K., Sahoo, B., Rout, A. K., & Sahoo, S. (2020). Investigations on machinability of AISI steels: Effect of tool material and cutting conditions. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(5), 11183–11195. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.08.029>
- Santos, C. H. D., Davim, J. P., & Monteiro, S. N. (2018). Machinability of medium carbon steels: Effects on surface roughness and tool wear. *Journal of Materials Research and Technology*, 7(4), 657–667. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2018.09.004>
- Sharma, V., Singh, G., & Sharma, S. (2022). Effect of tool geometry and cutting parameters on surface roughness in hard turning. *Materials Today: Proceedings*, 62, 2253–2259. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.509>
- Singh, R., Singh, S., Prakash, C., & Ramakrishna, S. (2020). 3D printing of polymer composites: A short review. *Materials Today: Proceedings*, 25(4), 586–591. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.08.191>
- Thakur, A., Gangopadhyay, S., & Ghosh, S. (2020). Optimization of cutting parameters for improving machinability of hardened steels. *Proceedings of the Institution of Mechanical*

- Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 234(9), 1191–1203.
<https://doi.org/10.1177/0954405420913903>
- Tortorella, G. L., & Fettermann, D. (2018). Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2975–2987. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1391420>
- Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., & Wang, L. (2021). Industry 4.0 and smart manufacturing—a review. *Engineering*, 7(3), 307–320. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.07.020>
- Yoon, J., Kim, H., Kim, T., & Choi, Y. (2022). Advances in precision machining technologies for future manufacturing. *Journal of Manufacturing Processes*, 80, 50–63. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.05.006>



© 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY SA) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).