

Kinerja Pembubutan Basah pada Baja Dikeraskan Berdasarkan Permukaan Akhir Menggunakan Parameter Pemotongan yang Berbeda

Wet Turning Performance on Hardened Steel Based on Surface Finish Using Different Cutting Parameters

Paulus Yustinus Maria Wibowo Ndaruhadi*, Toto Triantoro, Budi Wardoyo, Deny Bayu Saefudin, Muhamad Zulfian Fiqri
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Manufaktur, Universitas Jenderal Achmad Yani
Jalan Terusan Jenderal Sudirman, Kota Cimahi, Provinsi Jawa Barat, Indonesia

*Corresponding author email: wibowo.ndaruhadi@lecture.unjani.ac.id



Kata Kunci:

Permukaan akhir;
Pembubutan basah;
Parameter pemotongan;
Baja yang dikeraskan.

Abstrak

Baja yang dikeraskan banyak digunakan untuk produk dengan persyaratan tinggi, termasuk akurasi dimensi dan permukaan akhir. Proses gerinda silindris yang dinilai kurang ramah lingkungan karena penggunaan cairan pemotongan yang banyak. Proses pembubutan baja yang dikeraskan dapat sebagai substitusi proses gerinda. Tujuan studi adalah untuk mengetahui kinerja pembubutan basah dari baja yang dikeraskan berdasarkan respon permukaan akhir dan keausan pahat menggunakan parameter pemotongan yang berbeda. Beberapa percobaan pembubutan basah dilakukan pada baja AISI-O1 yang dikeraskan (± 58 HRC). Hasil penelitian menunjukkan bahwa gerak makan minimum pada semua kecepatan potong mampu menghasilkan kekasaran permukaan yang menurut ISO dikategorikan sebagai N6 dan identik dengan produk proses gerinda. Kombinasi parameter pemotongan minimum menghasilkan permukaan akhir terbaik ($R_a 0,625 - 0,802 \mu\text{m}$). Keausan tepi meningkat seiring dengan peningkatan gerak makan yang berada pada kisaran $0,037 - 0,109$ mm.

Keywords:

Surface finish; Wet turning; Cutting parameter; Hardened steel.

Abstract

Hardened steel is widely used for products with high requirements, including dimensional accuracy and surface finish. The cylindrical grinding process which is considered less environmentally friendly due to the use of a lot of liquid. The turning process of hardened steel can be used as a substitution of the grinding process. The aim of the study was to determine the wet turning performance of the hardened steel based on surface finish and tool wear responses using different cutting parameters. Several wet turning experiments were carried out on hardened steel AISI-O1 (± 58 HRC). The results showed that the minimum feed rate at all the cutting speeds is capable of producing surface roughness which according to ISO is categorized as N6 and is identical to the product of the grinding process. Minimum cutting parameter was produce the best surface finish ($R_a 0.625 - 0.802 \mu\text{m}$). The flank wear increases with the increase in feed rate which is in the range of $0.037 - 0.109$ mm.

PENDAHULUAN

Dalam operasi pemesinan, penggunaan *cutting fluid* bertujuan untuk mengurangi gesekan, membersihkan geram (*chips*) dari area pemotongan, mendinginkan *interface* antara *chips* dan *benda* kerja, keausan pahat yang lebih sedikit, umur pahat yang lebih lama, kecepatan potong yang lebih efektif, dan efisiensi sistem produksi yang lebih baik (Galanis dkk., 2008). Kesesuaian penggunaan *cutting fluid* dan strategi penyalurannya dalam operasi pemesinan dapat menghasilkan kualitas produk yang lebih baik. Dalam studinya, (Bedada dkk., 2021) memaparkan bahwa pemesinan basah atau operasi pemesinan dengan menggunakan *cutting fluid* yang berlebih menghasilkan kekasaran permukaan rata-rata 17,41% lebih rendah dibandingkan dengan pemesinan kering. Begitu juga temperatur pemotongan yang lebih rendah dan umur

pahat yang lebih panjang akan dapat dihasilkan dengan pemesinan basah dibandingkan kering, walaupun biaya pembubutan basah sekitar 56% lebih besar daripada biaya pembubutan kering.

Menurut Das dkk. (2014), pemesinan pada material yang keras (> 45 HRC) yang dikenal sebagai *hard machining* adalah teknologi pemesinan baru yang dipandang sebagai alternatif atau substitusi proses gerinda tradisional dalam pelaksanaan aktivitas produksi. Selain penghematan dalam penggunaan *cutting fluid* atau *coolant*, hal tersebut berkaitan dengan keunggulan *hard machining* dibandingkan dengan proses gerinda, yaitu kecepatan pengurangan material atau laju pembuangan geram (*material removal rate*) yang lebih besar, sehingga menghemat biaya dan waktu (Raj dkk., 2016). Penghematan dalam penggunaan *cutting fluid* atau *coolant* saat operasi pemesinan dalam *hard machining* adalah sejalan dengan isu kekinian, yaitu ramah lingkungan atau secara spesifik terkait dengan *green machining* dan *sustainability manufacturing*. Namun begitu penggunaan *hard machining* masih terbatas, mungkin salah satu tantangannya adalah apakah kualitas permukaan hasil pemesinan mampu mendekati atau bahkan menggantikan produk proses gerinda ataukah tidak. Oleh karena itu, parameter pemotongan yang sesuai sangatlah penting untuk keberhasilan penerapannya di industri. Perbandingan berbagai aspek dari *hard machining*, khususnya proses pembubutan pada material keras (*hard turning*) dengan proses gerinda ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan dalam berbagai aspek antara proses pembubutan material keras (*hard turning*) dengan proses gerinda (Siwiec, 2013).

<i>Aspect</i>	<i>Hard turning</i>	<i>Grinding</i>
<i>Lower energy consumption</i>	+	-
<i>Multiple machining in one setup</i>	+	-
<i>Machining of complex shape</i>	+	-
<i>Interrupted cutting</i>	+	-
<i>Investments in machine tool, equipment and tools</i>	+/-	+/-
<i>Surface layer properties after machining</i>	+/-	+/-
<i>Ecology</i>	+	-
<i>Operator's safety</i>	+	-
<i>Market and marketing</i>	+	-

Note: Worse: (-); Better: (+); Application dependent: (+/-)

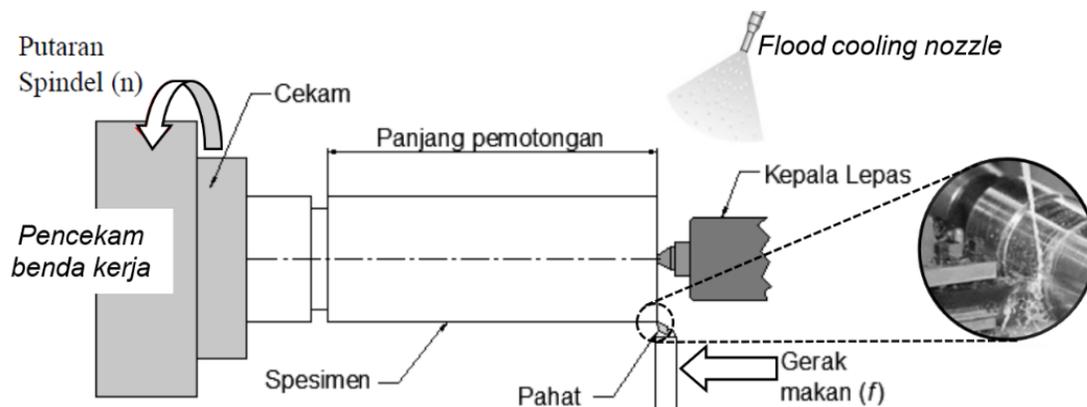
Sotirios dkk., (2021) menganalisis pengaruh parameter pemotongan ($v_c = 150 - 196$ m/min dan $f = 0,08 - 0,17$ mm/rev) terhadap kekasaran permukaan selama *hard turning* pada material yang umum digunakan seperti baja tahan karat AISI-SAE 304, baja konstruksi RSt 37-2 dan kuningan UNS C38000. Sementara Raj dkk., (2016) mencoba mengoptimalkan parameter pemotongan selama pembubutan keras baja perkakas AISI H13 yang memiliki kekerasan 45 HRC dengan 3 level parameter pemotongan pada rentang kecepatan potong (v_c) 75 – 115 m/min, gerak makan (f) 0,05 – 0,1 mm/rev dan kedalaman potong (a) 0,5 – 1 mm menggunakan *coated hard metal inserts tool*. Selain itu Bashir dkk., (2018) juga mengungkapkan hasil studinya tentang pembubutan kering pada baja perkakas AISI O1 dengan kekerasan 55 HRC menggunakan *wiper coated ceramic tool* pada rentang kecepatan potong 100 – 200 m/min serta gerak makan 0,05 – 0,2 mm/rev bahwa kekasaran permukaan meningkat sejalan dengan meningkatnya kecepatan potong serta gerak makan yang lebih rendah umumnya memberikan kekasaran permukaan yang lebih baik.

Berdasarkan uraian di atas pemilihan parameter pemotongan yang sesuai untuk digunakan dalam operasi pemesinan khususnya *hard machining* adalah diperlukan dengan mempertimbangkan kondisi pemesinan yang lainnya termasuk perkakas potong dan penggunaan *cutting fluid*. Tujuan dari studi ini adalah mengetahui kinerja pembubutan basah (*flood cooling*) dari baja yang dikeraskan berdasarkan permukaan akhir dan keausan pahat menggunakan parameter pemotongan yang berbeda. Penampilan plot hasil perbandingan kualitas permukaan akhir yang diproduksi dalam studi ini terhadap standar kelas (*grade*) hasil proses gerinda juga dicari untuk mendukung kemanfaatan lebih dari studi yang dilakukan. Beberapa studi terdahulu (Bashir dkk., 2018; D'Addona & Raykar, 2016; Das dkk., 2014; Hessainia dkk., 2013; Raj dkk.,

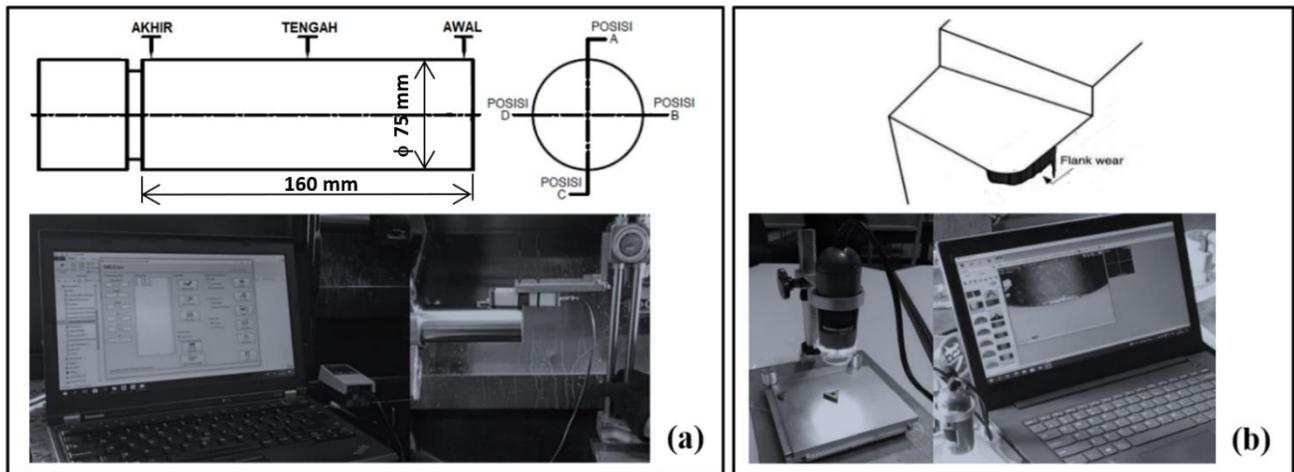
2016; Sotirios dkk., 2021) telah menampilkan penggunaan parameter pemotongan yang rendah dalam operasi pemesinan pada material keras (*hard machining*), sementara studi ini dilakukan dengan menggunakan 3 level kecepatan potong dan gerak makan yang lebih tinggi dari mereka. Hal tersebut dimaksudkan untuk meningkatkan efisiensi, efektivitas dan produktivitas operasi pemesinan melalui laju pembuangan geram (*material removal rate*) yang lebih besar.

METODE PENELITIAN

Serangkaian kerja eksperimental proses pembubutan dengan menggunakan mesin bubut CNC GOODWAY GCL-2BL dilakukan dengan kondisi proses dan parameter pemotongan yang ditentukan. Baja perkakas AISI-O1 yang dikeraskan (± 58 HRC) yang telah dilakukan preparasi sebelumnya digunakan sebagai material specimen. Perkakas potong yang digunakan dalam kerja eksperimental ini adalah *coated carbide insert tool SECO-TNMG160408-MF2 TH100* yang dipasang pada *tool holder SECO-DTGNR2020K16-M*. Tiga level kecepatan potong (yaitu: 275 m/min; 300 m/min dan 325 m/min) dan juga gerak makan (yaitu: 0,15 mm/rev; 0,35; dan 0,55 mm/rev) dikombinasikan dalam 9 variasi dan digunakan sebagai parameter pemotongan dalam kerja eksperimental ini. Kedalaman pemotongan yang digunakan adalah 0,5 mm dan bersifat tetap, selain itu cairan pemotongan yang digunakan adalah *soluble oil* yang dikururkan di area pemotongan (*flood cooling*). Dua respon pemesinan yang meliputi kekasaran permukaan dan keausan pahat digunakan sebagai indikator kinerja proses pembubutan. Kedua respon pemesinan tersebut diukur atau diambil datanya setelah selesai dilakukannya satu kali proses pembubutan sepanjang 160 mm untuk setiap percobaan dengan menggunakan 1 variasi kombinasi parameter pemotongan yang telah ditetapkan. Data kekasaran permukaan diambil dari 3 area pengukuran yang merepresentasikan panjang pemotongan yang dilakukan, yaitu pada area awal, tengah dan akhir dari proses pembubutan. Di setiap area tersebut dilakukan 4 kali pengukuran pada posisi yang berbeda disekelilingnya dengan menggunakan jarak lebih kurang 90° satu terhadap yang lainnya. Nilai kekasaran permukaan rata-rata dari keempat posisi pengukuran tersebut dijadikan data kekasaran permukaan di setiap area pengukuran. Kekasaran permukaan yang mampu dihasilkan tersebut kemudian dilakukan penilaian dengan merujuk pada kelas (*grade*) kekasaran permukaan yang terstandarisasi. Standar ISO R 1302 dan DIN 4768 digunakan dalam menilai pencapaian kualitas permukaan akhir dari studi ini, termasuk membandingkannya dengan permukaan akhir hasil proses gerinda (*grinding*). Pengukuran kekasaran permukaan dilakukan dengan menggunakan *surface roughness tester Mitutoyo SJ-210*. Sementara untuk data respon keausan pahat diketahui dengan mengambil gambar atau foto serta mengukur keausan tepi (*flank wear*) yang terjadi dari setiap pahat yang digunakan pada setiap percobaan yang dilakukan dengan menggunakan *digital microscope*. Ilustrasi *set-up* kerja eksperimental proses pembubutan dan pengukuran kedua respon pemesinan yang dilakukan ditampilkan pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Ilustrasi *set-up* kerja eksperimental proses pembubutan



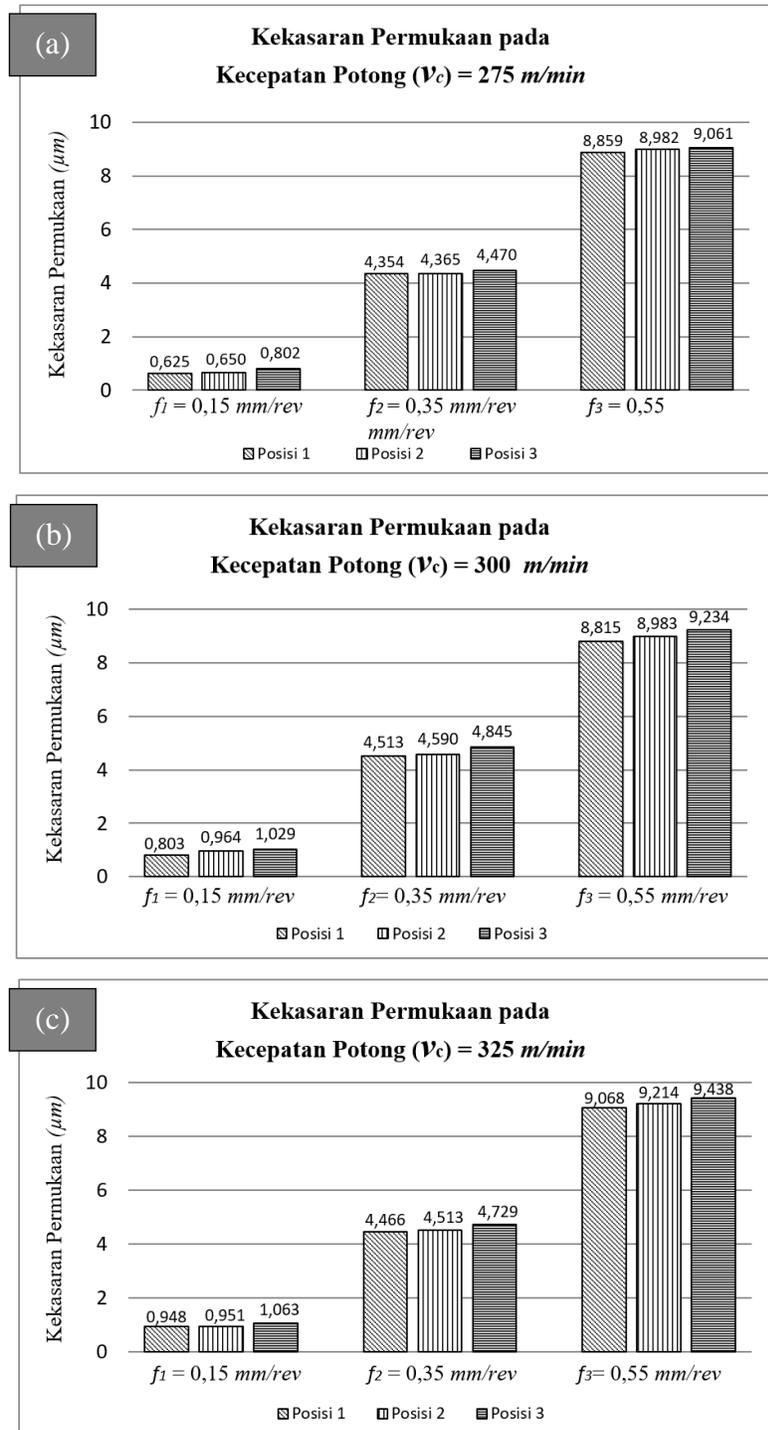
Gambar 2. Pengukuran kedua respon pemesinan: (a) Kekasaran permukaan; (b) Keausan pahat

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tampilan grafis data kekasaran permukaan yang mampu dihasilkan dari kerja eksperimental disajikan pada Gambar 3. Pada grafik-grafik tersebut ditampilkan fungsi kombinasi parameter pemotongan (kecepatan potong dan gerak makan) terhadap kekasaran permukaan hasil pengukuran pada setiap daerah pengukuran (awal, tengah dan akhir). Data yang ditampilkan menunjukkan kekasaran permukaan meningkat sejalan dengan peningkatan semua gerak makan dan kecepatan potong yang digunakan. Begitu juga bila ditinjau dari daerah pengukuran yang identik dengan panjang pemotongan, dimana nilai kekasaran permukaan menunjukkan peningkatan dari daerah awal ke tengah dan sampai dengan daerah akhir proses pembubutan. Kondisi tersebut terjadi pada semua kombinasi parameter pemotongan, walaupun peningkatan nilai kekasaran permukaan yang terjadi besarnya bervariasi dan relatif kecil, berkisar pada $0,3 \mu\text{m} - 0,254 \mu\text{m}$ atau $0,3\% - 23,4\%$. Kombinasi parameter pemotongan minimum ($v_c = 275 \text{ mm/min}$; $f = 0,15 \text{ mm/rev}$) menghasilkan permukaan akhir terbaik dengan rentang nilai R_a $0,625 - 0,802 \mu\text{m}$ atau nilai rata-rata kekasaran permukaannya sebesar $0,692 \mu\text{m}$. Sedangkan nilai rata-rata kekasaran permukaan terbesar ($9,240 \mu\text{m}$) dihasilkan dari kombinasi parameter pemotongan $v_c = 325 \text{ m/min}$ dan $f = 0,55 \text{ mm/rev}$. Rentang peningkatan nilai rata-rata kekasaran permukaan yang terjadi di semua kombinasi parameter pemotongan adalah $3,704 \mu\text{m} - 4,670 \mu\text{m}$ atau sebesar $93,8\% - 535,2\%$. Gerak makan (f) memberikan dampak peningkatan nilai kekasaran permukaan yang jauh lebih besar bila dibandingkan dengan kecepatan potong. Bertambahnya tekanan dalam pemotongan akibat meningkatnya parameter pemotongan merupakan hal yang masuk akal sebagai penyebab timbulnya perbedaan dalam peningkatan nilai kekasaran permukaan tersebut. Walaupun berdasarkan studi yang dilakukan oleh Raj dkk., (2016) tidak semua hasil menunjukkan fenomena dan kecenderungan yang konsisten, namun hasil senada dengan studi ini khususnya dampak dari gerak makan ditemukan pada beberapa studi (Bashir dkk., 2018; D'Addona & Raykar, 2016; Das dkk., 2014; Hessainia dkk., 2013), dimana peningkatan gerak makan memberikan dampak pada nilai kekasaran permukaan yang meningkat.

ISO R 1302 dan DIN 4768 yang menata standarisasi tekstur permukaan pada gambar serta kualitas permukaan akhir hasil dari berbagai jenis proses pemesinan (Atedi & Agustono, 2015), digunakan untuk menilai pencapaian kualitas permukaan akhir dari studi ini berdasarkan kelas (*grade*) kekasaran permukaan yang terstandarisasi. Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan dari gerak makan minimum ($f = 0,15 \text{ mm/rev}$) pada semua kecepatan potong mampu menghasilkan kekasaran permukaan yang menurut ISO R 1302 dikategorikan sebagai N6 dan masuk ke dalam rentang kualitas permukaan akhir dari proses gerinda. Oleh sebab itu kondisi proses pembubutan dengan menggunakan kombinasi gerak makan yang minimum dengan semua kecepatan potong dalam studi ini dapat menjadi

alternatif ataupun substitusi dari proses gerinda dalam pembuatan produk. Sementara itu kualitas permukaan akhir hasil dari dua gerak makan yang lain dalam studi ini (yaitu 0,55 mm/rev dan 0,55 mm/rev) walaupun masih masuk dalam rentang kualitas produk proses pembubutan namun hanya mampu masuk pada kategori N8 dan N9.



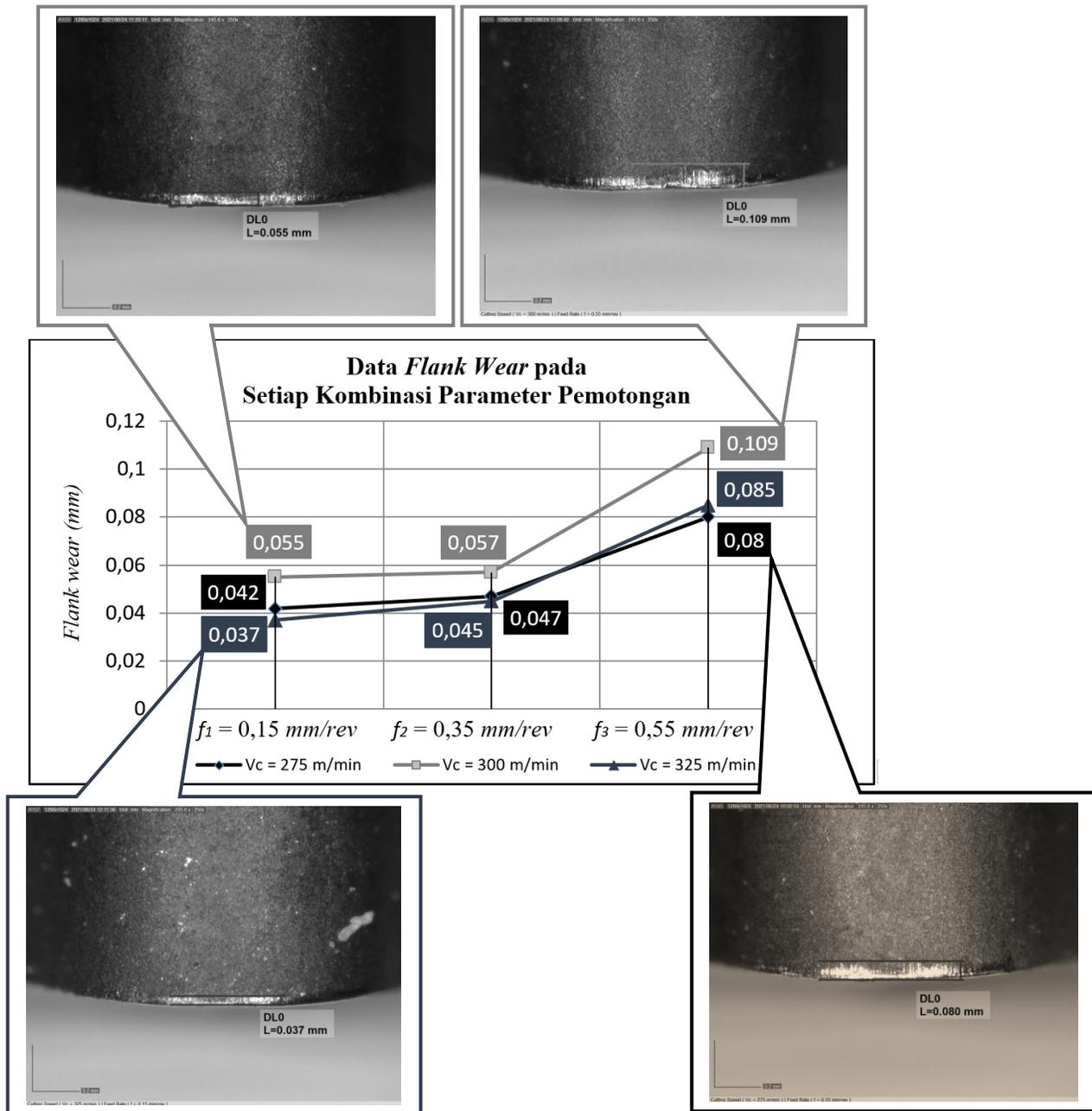
Gambar 3. Kekasaran permukaan di setiap daerah pengukuran dan gerak makan yang diobservasi pada setiap kecepatan potong yang digunakan: (a) $v_c = 275$ m/min; (b) $v_c = 300$ m/min dan (c) $v_c = 325$ m/min.

Tabel 2. Rentang kekasaran permukaan yang dihasilkan menurut ISO berdasarkan: Standarisasi symbol nilai kekasaran permukaan (kiri); dan Pekerjaan akhir proses pemesinan (kanan)

Kekasaran Ra (µm)	Kelas kekasaran	Panjang Sampel (mm)	Proses	Kekasaran Permukaan, Ra (µm)																	
				0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25,0								
50	N12	8	Superfinishing																		
25	N11		Lapping																		
12,5	N10	2.5	Polihing																		
6,3	N9		Honing																		
3,2	N8	0.8	Grinding																		
1,6	N7		Boring																		
0,8	N6		Turning																		
0,4	N5		Drilling																		
0,2	N4	0.25	Extruding																		
0,1	N3		Drawing																		
0,05	N2		Milling																		
0,025	N1	0.08	Shaping																		
			Planing																		

Gambar 4 menampilkan foto dan data keausan tepi (*flank wear*) pahat yang terjadi pada semua kombinasi parameter pemotongan yang digunakan dalam studi ini. Terlihat bahwa keausan pahat minimal yaitu sebesar 0,037 mm (37 µm) dihasilkan pada operasi pembubutan dengan menggunakan kecepatan potong tertinggi ($v_c = 325$ m/min) dengan gerak makan terendah ($f = 0,15$ mm/rev). Sementara keausan maksimal dari pahat sebesar 0,109 mm (109 µm) terjadi pada kombinasi parameter pemotongan $v_c = 300$ m/min dengan $f = 0,55$ mm/rev. Peningkatan kecepatan potong memberikan dampak pada keausan pahat secara tidak konsisten, dimana kecepatan potong terbesar dan terkecil yang digunakan dalam studi ini tampak menghasilkan keausan pahat yang lebih rendah bila dibandingkan dengan kecepatan potong nilai tengah ($v_c = 300$ m/min). Berbeda halnya dengan dampak yang diakibatkan karena gerak potong yang meningkat, dimana dampaknya terlihat secara konsisten. Besarnya keausan pahat sejalan dengan peningkatan gerak potong. Keausan pahat yang terjadi pada gerak potong 0,15 mm/rev dan 0,35 mm/rev relatif sama atau peningkatannya terlihat landai hanya berkisar 3,6% - 21,6% atau sebesar 2 µm - 8 µm. Sedangkan saat penggunaan gerak potong 0,55 mm/rev terjadi peningkatan keausan pahat yang cukup nyata pada semua kecepatan potong. Bila dibandingkan dengan keausan pahat yang terjadi pada gerak potong 0,35 mm/rev terlihat peningkatan sebesar 33 µm - 52 µm atau 70,2% - 91,2%. Tekanan saat pemotongan yang meningkat karena adanya peningkatan parameter pemotongan mengakibatkan gesekan ujung pahat dan benda kerja menjadi bertambah, sehingga berpotensi meningkatkan keausan di ujung pahat. Studi (Varaprasad dkk., 2014) menunjukkan hasil yang mendukung hasil dari studi ini, dimana peningkatan parameter pemotongan yang meliputi kecepatan potong, gerak makan dan kedalaman pemotongan berdampak pada peningkatan keausan tepi pahat. Begitupun dengan studi yang dilakukan oleh (Magalhães dkk., 2022), dimana hasilnya selain memperlihatkan dampak dari parameter pemotongan terhadap keausan pahat tepi pahat yang senada dengan hasil studi ini juga memperlihatkan keausan pahat yang bertambah sejalan dengan waktu pemotongan serta memiliki korelasi positif dengan kualitas permukaan akhir. Hasil studi lain yang mendukung dan dapat digunakan untuk membantu menjelaskan fenomena yang terjadi adalah yang ditampilkan (Panda dkk., 2018). Selain dampak yang senada terkait dengan variasi parameter pemotongan yang digunakan terhadap keausan pahat tepi pahat, juga diperlihatkan besar keausan tepi pahat yang berbeda antara pahat sisipan dari karbida berlapis (*coated*

carbide) dengan keramik. Hasil studi Panda dkk., (2018) dan Magalhães dkk., (2022) tersebut mungkin dapat membantu menjelaskan terkait ketahanan pahat terhadap gesekan yang berbeda di area pemotongan. Berdasarkan foto keausan tepi pahat (Gambar 4), terjadinya keausan pahat terlihat sebagai mekanisme abrasif yang ditandai dengan perubahan bentuk radius ujung pada sisi pahat akibat terjadinya gesekan saat pemotongan sehingga ujung pahat terkikis.



Gambar 4. Keausan tepi (*flank wear*) yang terjadi pada semua kombinasi parameter pemotongan yang digunakan.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diberikan sebagai hasil dari studi ini adalah sebagai berikut: (1) Kekasaran permukaan meningkat nilainya sejalan dengan peningkatan parameter pemotongan (khususnya gerak makan) yang digunakan serta panjang pemotongan. Permukaan akhir terbaik (R_a 0,625 – 0,802 μm) dihasilkan dari kombinasi nilai parameter pemotongan terendah, yaitu kecepatan potong 275 m/min dengan gerak makan 0,15 mm/rev. (2) Nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan dengan menggunakan gerak makan terendah (0,15 mm/rev) pada semua kecepatan potong (275 m/min; 300 m/min dan 325 m/min) menghasilkan kekasaran permukaan yang dikategorikan sebagai N6 dan dapat digunakan sebagai substitusi dari proses gerinda. (3) Keausan tepi pahat yang terjadi terlihat sebagai mekanisme abrasif dan besarnya berkisar 0,037 – 0,109 mm, dimana keausan pahat minimal dihasilkan pada operasi pembubutan dengan menggunakan kecepatan potong tertinggi ($v_c = 325$ m/min) dan gerak makan terendah ($f = 0,15$ mm/rev). Keausan tepi pahat meningkat seiring dengan peningkatan gerak makan, namun korelasi dengan kecepatan potong tidaklah seiring dan konsisten.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) serta Fakultas Teknologi Manufaktur (FTM) Universitas Jenderal Achmad Yani (UNJANI) atas kesempatan dan dukungan pembiayaan penelitian ini sesuai dengan Surat Keputusan Rektor Nomor: Skep/175/Unjani/VI/2021.

REFERENSI

- Atedi, B., & Agustono, D. (2015). Standar kekasaran permukaan bidang pada Yoke Flange menurut ISO R.1302 dan DIN 4768 dengan memperhatikan nilai ketidakpastiannya. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 6(2), 63–69. <https://doi.org/10.23917/mesin.v6i2.2897>
- Bashir, K., Alkali, A. U., Elmunafi, M. H. S., & Yusof, N. M. (2018). Experimental investigation into effect of cutting parameters on surface integrity of hardened tool steel. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 344(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/344/1/012020>
- Bedada, B. D., Woyesssa, G. K., Jiru, M. G., Fetene, B. N., & Gemechu, T. (2021). Experimental investigation on the advantages of dry machining over wet machining during turning of AISI 1020 steel. *Journal of Modern Mechanical Engineering and Technology*, 8(November), 12–25. <https://doi.org/10.31875/2409-9848.2021.08.2>
- D’Addona, D. M., & Raykar, S. J. (2016). Analysis of surface roughness in hard turning using wiper insert geometry. *Procedia CIRP*, 41, 841–846. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.12.087>
- Das, D. K., Sahoo, A. K., Das, R., & Routara, B. C. (2014). Investigations on hard turning using coated carbide insert: Grey based Taguchi and regression methodology. *Procedia Materials Science*, 6, 1351–1358. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.114>
- Galanis, N., Manolakos, D., & Vaxevanidis, N. (2008). Comparison between dry and wet machining of stainless steel. *3rd International Conference on Manufacturing Engineering 2008, October*, 1–3. <http://ithaki.meng.auth.gr/data/ICMEN2008PDF/01-CUGR05.pdf>
- Hessainia, Z., Belbah, A., Yaltese, M. A., Mabrouki, T., & Rigal, J. F. (2013). On the prediction of surface

roughness in the hard turning based on cutting parameters and tool vibrations. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 46(5), 1671–1681. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2012.12.016>

Magalhães, L. C., Carlesso, G. C., de Lacalle, L. N. L., Souza, M. T., Palheta, F. de O., & Binder, C. (2022). Tool wear effect on surface integrity in AISI 1045 steel dry turning. *Materials*, 15(6). <https://doi.org/10.3390/ma15062031>

Panda, A., Sahoo, A. K., Rout, A. K., Kumar, R., & Das, R. K. (2018). Investigation of flank wear in hard turning of AISI 52100 grade investigation of flank wear in carbide hard turning of AISI 52100 inserts grade steel using multilayer coated and mixed ceramic multilayer coated car. *Procedia Manufacturing*, 20, 365–371. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.053>

Raj, A., Wins, K. L. D., & Varadarajan, A. S. (2016). Cutting parameters optimization during hard turning of AISI H13 tool steel. *International Journal of Research in Mechanical Engineering*, 4(3), 33–38.

Siwiec, J. (2013). Research on hardened steel turning with superhard tool material. *Student's Conference STC 2012*. <http://stc.fs.cvut.cz/pdf13/2581.pdf>

Sotirios, T. A., Alexandros, K., Georgia, T., & Konstantinos, S. (2021). Experimenta; Investigation of the effect of turning cutting parameters on surface roughness and material's microstructure as a factor of turning speed versus feed rate. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 11(5), 179–192.

Varaprasad, B., Srinivasa Rao, C., & Vinay, P. V. (2014). Effect of machining parameters on tool wear in hard turning of AISI D3 steel. *Procedia Engineering*, 97, 338–345. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.257>