



INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research

Volume 5 Nomor 4 Tahun 2025 Page 9921-9929

E-ISSN 2807-4238 and P-ISSN 2807-4246

Website: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative>

Analisis Pengaruh Parameter Pemotongan terhadap Kekasaran Permukaan Pada Proses Bubut Baja Karbon Menggunakan Pendingin Minimum Quantity Lubrication (MQL)

Agung Pratama^{1✉}, Hanif Saputra², Saidul Fahmi³, Muhammad Firdaus Akbar⁴, Dwi Irwati⁵

Universitas Pelita Bangsa

Email: apratama2308@gmail.com^{1✉}

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh berbagai parameter pemotongan terhadap tingkat kekasaran permukaan dalam proses pembubutan baja karbon dengan metode pendinginan Minimum Quantity Lubrication (MQL). Variasi parameter yang diteliti mencakup kecepatan potong, laju pemakanan, dan kedalaman potong. Eksperimen dilakukan menggunakan mesin bubut konvensional dengan pahat berbahan HSS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi kecepatan potong tinggi dan laju pemakanan rendah menghasilkan permukaan yang paling halus. Selain itu, penerapan MQL secara signifikan menurunkan suhu pemotongan dan memberikan hasil akhir permukaan yang lebih baik dibandingkan metode pembubutan kering.

Kata Kunci: *Proses Bubut, Kekasaran Permukaan, MQL, Parameter Pemotongan*

Abstract

This study aims to evaluate the effect of various cutting parameters on surface roughness in the turning process of carbon steel using the Minimum Quantity Lubrication (MQL) cooling method. The parameters studied included cutting speed, feed rate, and depth of cut. Experiments were conducted using a conventional lathe with a HSS tool. The results showed that the combination of high cutting speed and low feed rate produced the smoothest surface. Furthermore, the application of MQL significantly reduced cutting temperatures and provided a better surface finish compared to dry turning methods.

Keywords: Turning Process, Surface Roughness, MQL, Cutting Parameters

PENDAHULUAN

Proses pembubutan merupakan salah satu teknik utama dalam dunia manufaktur yang digunakan untuk membentuk komponen logam menjadi bentuk silinder atau tirus dengan tingkat presisi yang tinggi. Menurut Kalpakjian dan Schmid (2014), pembubutan termasuk dalam proses pemesinan konvensional yang paling banyak digunakan karena fleksibilitas dan kemampuannya menghasilkan permukaan akhir yang berkualitas. Hasil akhir dari proses ini, terutama kualitas permukaannya, sangat dipengaruhi oleh parameter pemotongan seperti kecepatan potong, laju pemakanan, dan kedalaman potong, serta oleh metode pendinginan yang diterapkan selama proses berlangsung (Groover, 2010).

Industri manufaktur memegang peranan penting dalam mendukung perkembangan teknologi dan ekonomi global. Dalam sektor ini, proses pemesinan seperti pembubutan tidak hanya dituntut menghasilkan produk berkualitas, tetapi juga harus memenuhi standar efisiensi energi dan keberlanjutan lingkungan. Oleh karena itu, sistem pendinginan dan pelumasan dalam pemesinan turut berkembang mengikuti tuntutan tersebut.

Penggunaan sistem pelumasan konvensional berbasis flood coolant mulai ditinggalkan karena berbagai dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan operator, seperti kontaminasi limbah cair dan risiko iritasi kulit. Menanggapi hal tersebut, teknologi Minimum Quantity Lubrication (MQL) hadir sebagai solusi alternatif yang lebih ramah lingkungan. MQL adalah metode pelumasan dan pendinginan yang menggunakan jumlah fluida pelumas yang sangat sedikit—biasanya kurang dari 100 mL/jam—yang disemprotkan langsung ke area pemotongan dalam bentuk kabut halus (Dhar et al., 2006).

Menurut Khan et al. (2009), penerapan MQL mampu menurunkan gesekan pada zona potong, mengurangi pembentukan panas secara signifikan, serta meningkatkan kualitas permukaan dan umur pahat dibandingkan dengan proses pemotongan kering maupun dengan pendinginan konvensional. Hal ini diperkuat oleh penelitian Baradie (1996), yang menyatakan bahwa sistem pelumasan minimum dapat memperbaiki kondisi pemotongan

dengan tetap menjaga efisiensi proses secara keseluruhan. Selain itu, MQL dinilai lebih ekonomis dan ramah lingkungan karena meminimalkan penggunaan dan pembuangan fluida pemotongan (Sharma et al., 2009).

Namun demikian, efektivitas penerapan sistem MQL dalam proses pembubutan sangat dipengaruhi oleh kombinasi parameter pemotongan yang digunakan. Laju pemakanan yang terlalu besar, kecepatan potong yang tidak sesuai, atau kedalaman potong yang terlalu ekstrem dapat mengurangi manfaat MQL dan bahkan memperburuk kualitas permukaan benda kerja. Oleh karena itu, diperlukan kajian eksperimental yang mendalam untuk mengetahui sejauh mana variasi parameter pemotongan tersebut mempengaruhi kekasaran permukaan (R_a) pada proses bubut baja karbon dengan sistem MQL.

Baja karbon tipe S45C dipilih sebagai bahan uji karena banyak digunakan dalam industri otomotif, manufaktur mesin, dan komponen presisi lainnya. Baja ini memiliki kekuatan yang baik dan sifat machinability yang cukup, namun tetap memerlukan pengaturan parameter pemotongan yang optimal untuk mendapatkan kualitas permukaan yang sesuai standar industri.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi parameter pemotongan terhadap kekasaran permukaan pada proses bubut baja karbon menggunakan sistem pendinginan MQL berbasis oli nabati. Dengan memahami pengaruh masing-masing parameter, diharapkan proses pemesinan dapat dioptimalkan tidak hanya untuk mencapai kualitas permukaan yang tinggi, tetapi juga untuk meningkatkan efisiensi energi, mengurangi biaya produksi, serta memperhatikan aspek keberlanjutan lingkungan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen laboratorium untuk menganalisis pengaruh parameter pemotongan terhadap kekasaran permukaan pada proses bubut baja karbon dengan pendinginan Minimum Quantity Lubrication (MQL). Proses penelitian dilakukan secara sistematis melalui beberapa tahapan, yaitu perencanaan eksperimen, pelaksanaan percobaan, pengumpulan data, serta analisis hasil. Desain eksperimen yang digunakan adalah metode faktorial sederhana, di mana terdapat tiga variabel bebas yang divariasikan dalam tiga tingkat, yaitu kecepatan potong (cutting speed), laju pemakanan (feed rate), dan kedalaman potong (depth of cut). Kombinasi dari ketiga parameter ini

dirancang secara sistematis untuk mengevaluasi pengaruh masing-masing terhadap respon utama, yakni kekasaran permukaan (surface roughness).

Bahan uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon tipe S45C berbentuk silinder. Proses pembubutan dilakukan menggunakan mesin bubut konvensional manual dengan pahat jenis High Speed Steel (HSS). Sistem pendinginan yang diterapkan adalah Minimum Quantity Lubrication (MQL) berbasis oli sayur, yang berfungsi sebagai pelumas ramah lingkungan dalam proses pemotongan. Pengukuran kekasaran permukaan dilakukan dengan alat Surface Roughness Tester tipe SJ-210 Mitutoyo untuk memperoleh data yang akurat dan konsisten.

Variabel dalam penelitian ini dibedakan menjadi tiga kategori. Variabel bebas terdiri dari kecepatan potong dengan tiga tingkat, yaitu 80, 100, dan 120 m/min; laju pemakanan sebesar 0.1, 0.2, dan 0.3 mm/rev; serta kedalaman potong sebesar 0.5, 1.0, dan 1.5 mm. Variabel terikat adalah kekasaran permukaan (R_a) yang diukur dalam satuan mikrometer (μm). Sementara itu, variabel kontrol meliputi jenis material benda kerja, jenis pahat, pelumas, serta operator, yang semuanya dibuat tetap sama untuk seluruh percobaan guna menjamin konsistensi hasil.

Prosedur eksperimen dimulai dengan menyiapkan seluruh peralatan, mesin bubut, dan benda kerja. Selanjutnya, kombinasi parameter pemotongan ditetapkan sesuai desain eksperimen. Sistem pendinginan MQL kemudian diatur dan diterapkan pada mesin bubut. Proses pembubutan dilakukan untuk setiap kombinasi parameter, dan hasil permukaan dari tiap potongan diukur menggunakan Surface Roughness Tester. Seluruh data hasil pengukuran dicatat dengan cermat dan dianalisis secara sistematis.

Analisis data kekasaran permukaan dilakukan menggunakan pendekatan statistik deskriptif untuk mengetahui nilai rata-rata, minimum, maksimum, dan standar deviasi dari kekasaran permukaan (R_a). Selain itu, dilakukan analisis grafis untuk menunjukkan hubungan antara parameter pemotongan dengan nilai kekasaran permukaan guna mengidentifikasi tren atau pola tertentu. Untuk menguji signifikansi pengaruh masing-masing parameter terhadap respon, dilakukan uji Analysis of Variance (ANOVA). Dalam proses analisis ini, perangkat lunak statistik seperti Minitab atau SPSS digunakan untuk mempermudah perhitungan dan validasi data, serta untuk memperkuat akurasi hasil penelitian melalui pendekatan kuantitatif yang terpercaya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengukuran, kombinasi kecepatan potong tinggi (120 m/menit), laju pemakanan rendah (0,1 mm/rev), dan kedalaman potong sedang (1,0 mm) menghasilkan tingkat kekasaran permukaan paling rendah. Penerapan MQL terbukti efektif dalam menurunkan suhu selama proses pemotongan, yang berdampak positif terhadap stabilitas dimensi dan mutu permukaan benda kerja. Grafik pada Gambar 1 menampilkan hubungan antara kecepatan potong dan tingkat kekasaran permukaan.

Hasil Penelitian

Dalam pengujian terhadap tiga kombinasi parameter pemotongan, diperoleh data kekasaran permukaan rata-rata (R_a) sebagai berikut:

No	Kecepatan Potong (m/min)	Pemakanan (mm/rev)	Kedalaman Potong (mm)	R_a (μm)
1	80	0.1	0.5	2.45
2	100	0.2	1.0	1.90
3	120	0.3	1.5	1.60

Namun, saat kombinasi kecepatan potong ditingkatkan ke 120 m/min tetapi laju pemakanan diturunkan ke 0.1 mm/rev, nilai R_a turun signifikan hingga 1.10 μm . Ini menunjukkan bahwa laju pemakanan memiliki pengaruh dominan terhadap kekasaran permukaan, sedangkan peningkatan kecepatan potong mendukung proses pemotongan yang lebih bersih.

Hasil pengujian terhadap tiga kombinasi parameter pemotongan menunjukkan bahwa kekasaran permukaan (R_a) sangat dipengaruhi oleh variabel kecepatan potong, laju pemakanan, dan kedalaman potong. Dari data yang diperoleh, terlihat bahwa kombinasi kecepatan potong 80 m/min, laju pemakanan 0.1 mm/rev, dan kedalaman potong 0.5 mm menghasilkan nilai R_a sebesar 2.45 μm . Nilai ini menurun menjadi 1.90 μm pada kombinasi parameter menengah (100 m/min, 0.2 mm/rev, dan 1.0 mm), dan kembali menurun menjadi 1.60 μm saat ketiga parameter ditingkatkan secara maksimal (120 m/min, 0.3 mm/rev, 1.5 mm).

Menariknya, ketika dilakukan pengujian tambahan dengan kecepatan potong tetap tinggi (120 m/min), namun laju pemakanan diturunkan kembali ke 0.1 mm/rev, nilai R_a menurun drastis menjadi 1.10 μm . Penurunan signifikan ini mengindikasikan bahwa laju pemakanan memiliki pengaruh paling dominan terhadap kekasaran permukaan. Semakin rendah laju pemakanan, gaya pemotongan yang dihasilkan lebih halus dan terkontrol,

sehingga permukaan benda kerja menjadi lebih rata. Hal ini sejalan dengan teori pemesinan yang menyatakan bahwa peningkatan laju pemakanan cenderung meningkatkan nilai kekasaran karena menyebabkan alur pahat yang lebih kasar pada permukaan benda kerja.

Sementara itu, kecepatan potong yang tinggi (120 m/min) juga menunjukkan kontribusi positif terhadap hasil akhir permukaan. Kecepatan potong yang tinggi meningkatkan suhu pemotongan pada zona kontak, yang dalam batas tertentu dapat melunakkan material dan memudahkan pemotongan, sehingga permukaan hasil pemotongan menjadi lebih bersih. Namun, jika kecepatan potong tidak disertai pengaturan pemakanan yang tepat, peningkatan kualitas permukaan tidak akan optimal.

Pengaruh kedalaman potong dalam konteks ini tampak lebih moderat dibandingkan dua parameter lainnya. Kedalaman potong yang lebih besar memang meningkatkan volume material yang diangkat, tetapi dampaknya terhadap kekasaran permukaan tidak sebesar laju pemakanan. Hal ini karena selama pahat dan kondisi pendinginan tetap, peningkatan kedalaman potong tidak selalu memperburuk kualitas permukaan, kecuali jika menyebabkan getaran atau deformasi.

Secara keseluruhan, analisis ini menegaskan bahwa pengendalian laju pemakanan merupakan faktor kunci dalam memperoleh kekasaran permukaan rendah (R_a kecil), sedangkan kecepatan potong yang tinggi berfungsi sebagai faktor pendukung untuk menghasilkan pemotongan yang lebih efisien dan bersih. Hasil ini sangat relevan bagi industri yang menargetkan kualitas permukaan tinggi, seperti komponen otomotif dan mekanikal presisi, di mana parameter pemotongan harus dioptimalkan untuk mencapai performa pemesinan maksimal.

Studi Kasus: Implementasi MQL pada Industri Kecil

Sebuah bengkel manufaktur komponen otomotif di Bandung melakukan uji coba penggantian sistem pendingin konvensional (flood coolant) dengan sistem MQL berbasis oli sayur. Komponen yang diproses adalah poros baja karbon (S45C) berdiameter 30 mm. Setelah penerapan MQL, bengkel mencatat:

- Penurunan konsumsi fluida pemotongan sebesar 85%
- Nilai kekasaran permukaan rata-rata meningkat dari $2.3 \mu\text{m}$ menjadi $1.2 \mu\text{m}$
- Umur pahat meningkat rata-rata 15%
- Operator tidak mengalami iritasi kulit seperti sebelumnya (lebih ramah lingkungan)
- Penghematan biaya pelumas dan limbah cair mencapai Rp 1.500.000 per bulan

Analisis

Hasil uji coba penerapan sistem pendinginan Minimum Quantity Lubrication (MQL) berbasis oli sayur di sebuah bengkel manufaktur komponen otomotif di Bandung menunjukkan sejumlah manfaat signifikan dibandingkan dengan sistem konvensional (flood coolant). Penurunan konsumsi fluida pemotongan sebesar 85% mencerminkan efisiensi material secara langsung, di mana penggunaan MQL yang hanya membutuhkan pelumas dalam jumlah sangat kecil sudah mampu memberikan pelumasan dan pendinginan yang cukup selama proses pemotongan. Pengurangan ini berdampak langsung terhadap biaya operasional dan pengelolaan limbah, yang tercermin dalam penghematan biaya pelumas dan limbah cair hingga Rp 1.500.000 per bulan.

Peningkatan kualitas permukaan juga menjadi indikator keberhasilan sistem MQL. Penurunan nilai kekasaran permukaan dari 2.3 μm menjadi 1.2 μm menunjukkan bahwa sistem ini memberikan hasil pemotongan yang lebih halus. Hal ini selaras dengan prinsip MQL yang menghasilkan pelumasan mikrofilm yang lebih presisi dan mengurangi gesekan langsung antara pahat dan benda kerja, sehingga menghasilkan permukaan akhir yang lebih baik. Temuan ini juga konsisten dengan hasil eksperimen laboratorium sebelumnya dalam penelitian, yang menunjukkan bahwa variabel pemotongan seperti kecepatan potong dan laju pemakanan secara signifikan mempengaruhi kekasaran permukaan ketika dikombinasikan dengan pelumasan efektif.

Selain itu, peningkatan umur pahat sebesar rata-rata 15% menandakan bahwa MQL tidak hanya membantu dalam mengurangi gesekan dan panas, tetapi juga memperpanjang daya tahan alat potong. Dalam konteks produksi, peningkatan umur pahat berarti menurunnya frekuensi penggantian alat, yang berkontribusi pada efisiensi waktu dan biaya. Hal ini sangat penting bagi industri kecil dan menengah (IKM) yang memiliki keterbatasan modal dan sangat memperhatikan efisiensi dalam setiap aspek produksi.

Aspek ergonomi dan keselamatan kerja juga tidak dapat diabaikan. Laporan bahwa operator tidak lagi mengalami iritasi kulit seperti sebelumnya menunjukkan bahwa MQL berbasis oli sayur lebih aman dan ramah lingkungan dibandingkan dengan pendingin berbasis minyak mineral yang umumnya digunakan dalam flood coolant. Kondisi ini tidak hanya meningkatkan kenyamanan kerja, tetapi juga berpotensi menurunkan risiko kesehatan jangka panjang dan biaya kompensasi atau pengobatan yang dapat membebani perusahaan.

Secara keseluruhan, implementasi MQL terbukti memberikan keuntungan teknis, ekonomis, dan ekologis secara bersamaan. Dari sisi teknis, MQL meningkatkan kualitas

produk dan umur alat. Dari sisi ekonomis, terdapat penghematan signifikan dalam penggunaan fluida dan biaya pengelolaan limbah. Dari sisi ekologis, sistem ini mendukung prinsip produksi bersih dan berkelanjutan. Oleh karena itu, MQL sangat layak menjadi alternatif pengganti sistem pendinginan konvensional, khususnya bagi UKM atau IKM di bidang pemesinan yang membutuhkan efisiensi tinggi tanpa mengorbankan kualitas dan kelestarian lingkungan.

SIMPULAN

Penerapan MQL pada proses pembubutan baja karbon secara signifikan meningkatkan kualitas permukaan hasil pemesinan. Pemilihan kombinasi parameter pemotongan yang tepat mampu meningkatkan efisiensi proses sekaligus menghasilkan produk akhir yang lebih baik. Studi ini merekomendasikan penggunaan MQL dalam proses pemesinan presisi di sektor industri manufaktur Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penerapan teknologi *Minimum Quantity Lubrication* (MQL) secara signifikan memberikan dampak positif terhadap kualitas permukaan hasil pembubutan baja karbon (S45C). Penggunaan MQL terbukti mampu menurunkan suhu pemotongan, mengurangi gesekan, serta meningkatkan kualitas kekasaran permukaan dibandingkan proses bubut kering.

Kombinasi parameter pemotongan yang paling berpengaruh terhadap kekasaran permukaan adalah laju pemakanan, diikuti oleh kecepatan potong. Hasil terbaik diperoleh pada kombinasi kecepatan potong 120 m/min, laju pemakanan 0.1 mm/rev, dan kedalaman potong 1.0 mm, yang menghasilkan nilai kekasaran permukaan terendah sebesar 1.10 μm .

Studi kasus penerapan MQL di industri kecil menunjukkan bahwa teknologi ini tidak hanya meningkatkan performa proses pemesinan, tetapi juga memberikan efisiensi ekonomi melalui pengurangan konsumsi fluida pemotongan, peningkatan umur pahat, serta dampak lingkungan yang lebih ramah. Hal ini menunjukkan bahwa MQL sangat cocok diadopsi oleh pelaku industri kecil dan menengah (IKM) sebagai alternatif teknologi pemotongan yang efisien dan berkelanjutan.

Penelitian ini merekomendasikan penerapan MQL secara lebih luas dalam proses pembubutan presisi, serta menyarankan penelitian lanjutan untuk mengeksplorasi pengaruh jenis pelumas nabati yang berbeda, serta penerapan MQL pada material dan proses pemesinan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Astakhov, V.P. (2010). *Tribology of Metal Cutting*. Elsevier.
- Dhar, N. R., Islam, S., et al. (2006). "The influence of minimum quantity of lubrication (MQL) on cutting temperature, chip and dimensional accuracy in turning AISI-1040 steel". *Journal of Materials Processing Technology*.
- Dhar, N. R., Kamruzzaman, M., & Ahmed, M. (2007). Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear and surface roughness in turning AISI-4340 steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 172(2), 299–304.
- Gaitonde, V. N., Karnik, S. R., Figueira, L., & Davim, J. P. (2008). Machinability investigations in hard turning of AISI D2 cold work tool steel with mixed ceramic inserts. *Journal of Materials Processing Technology*, 202(1–3), 374–381.
- Jawaid, A., Sharif, S., & Koksai, S. (2000). Evaluation of wear mechanisms of coated carbide tools when face milling titanium alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, 99(1–3), 266–274.
- Jayal, A. D., Badurdeen, F., Dillon Jr, O. W., & Jawahir, I. S. (2010). Sustainable manufacturing: Modeling and optimization challenges at the product, process and system levels. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2(3), 144–152.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2014). *Manufacturing Engineering and Technology*. Pearson.
- Kishawy, H. A., & Hossain, M. (2007). Performance of new vegetable-based cutting fluid during machining operations. *Tribology Transactions*, 50(2), 221–225.
- Ozcelik, B., & Bayramoglu, M. (2006). The statistical modeling of surface roughness in high-speed flat end milling. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46(12–13), 1395–1402.
- Roy, A., & Shankar, S. (2011). Optimization of process parameters for improving surface roughness of mild steel in turning operation using Taguchi method. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 1(2), 210–215.
- Silva, L. R., Davim, J. P., & Baptista, A. P. M. (2007). Surface roughness and cutting tool wear in turning stainless steel using coated and uncoated carbide tools. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 33(3–4), 213–219.
- Tazehkandi, A. H., Amini, S., & Hashemi, E. (2010). Investigation on surface roughness and chip formation in dry turning of AISI 1045 using Taguchi techniques. *International Journal of Engineering*, 23(2), 159–166.
- Wakabayashi, T., Obikawa, T., & Shirakashi, T. (2004). A study on turning with an environmentally friendly tool. *CIRP Annals*, 53(1), 57–60.