

## Analysis of the Effect of Feed Rate, Spindle Speed and Cooling System on Surface Roughness of ST 37 Steel in the Turning Process

Rahmatul Fauzan Mulyadi<sup>1\*</sup>, Syahril<sup>1</sup>, Rifelino<sup>1</sup>, and Zainal Abadi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Negeri Padang, INDONESIA

\*Corresponding author: [rahmatulfauzan77@gmail.com](mailto:rahmatulfauzan77@gmail.com)

Received April 17<sup>th</sup> 2026; Revised April 29<sup>th</sup> 2026; Accepted May 10<sup>th</sup> 2026

### Abstract

*Surface roughness is an important parameter in turning processes, as it directly affects the performance and service life of mechanical components. This study aims to examine the influence of feed rate, spindle speed, and coolant application on the estimated surface roughness (Ra<sub>est</sub>) of ST 37 steel under conventional turning conditions. A 2<sup>3</sup> full factorial experimental design was employed, involving eight treatment combinations consisting of two feed rate levels (0.040 and 0.100 mm/rev), two spindle speed levels (315 and 400 rpm), and two cooling conditions (with and without coolant). Surface roughness estimation was carried out using digital image analysis with ImageJ software based on optical microscope images. The analysis utilized gray-level intensity distributions, which were then converted into roughness values using an empirical scaling approach. The results indicate that increasing the feed rate led to a rise in Ra<sub>est</sub> ranging from 1.74% to 7.11%, while higher spindle speeds contributed to an increase in surface roughness between 4.54% and 11.91%. In contrast, the use of coolant reduced surface roughness by an average of 9.20%, mainly due to its role in minimizing heat and friction during machining. The optimal parameter combination was obtained at a spindle speed of 315 rpm and a feed rate of 0.040 mm/rev with coolant, producing an Ra<sub>est</sub> value of 1.495 μm, which falls within ISO roughness class N7. Overall, all specimens were classified within ISO N7, indicating a semi-finishing surface quality.*

**Keywords:** Surface Roughness; Feed Rate; Spindle Speed; Coolant; Digital Image Analysis

## Analisis Pengaruh Feed Rate, Spindle Speed dan Sistem Pendingin terhadap Kekasaran Permukaan Baja ST 37 pada Proses Pembubutan

### Abstrak

Kekasaran permukaan merupakan suatu parameter penting dalam proses pembubutan yang memengaruhi kinerja dan umur pakai komponen. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh gerak makan, kecepatan spindle, dan penggunaan coolant terhadap estimasi kekasaran permukaan (Raest) pada baja ST 37 melalui pembubutan konvensional. Metode yang digunakan adalah eksperimen faktorial penuh  $2^3$  dengan delapan kombinasi perlakuan, meliputi dua tingkat gerak makan (0,040 dan 0,100 mm/putaran), dua tingkat kecepatan spindle (315 dan 400 rpm), serta dua kondisi pendinginan (dengan dan tanpa coolant). Estimasi kekasaran ini dilakukan menggunakan analisis citra digital perangkat lunak ImageJ dari citra mikroskop optik, dengan memanfaatkan distribusi intensitas keabuan yang dikonversi menjadi nilai kekasaran melalui faktor skala empiris. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan gerak makan meningkatkan nilai Raest sebesar 1,74%–7,11%, sementara peningkatan kecepatan spindle meningkatkan kekasaran sebesar 4,54%–11,91%. Sebaliknya, penggunaan coolant menurunkan kekasaran rata-rata sebesar 9,20% karena perannya dalam mengurangi panas dan gesekan. Kombinasi parameter terbaik diperoleh pada kecepatan spindle 315 rpm, gerak makan 0,040 mm/putaran, dengan coolant, menghasilkan Raest sebesar 1,495  $\mu\text{m}$  yang termasuk dalam kelas kekasaran ISO N7. Secara keseluruhan, seluruh spesimen berada pada kelas ISO N7 yang menunjukkan kualitas permukaan semi-finishing.

**Kata Kunci:** Kekasaran Permukaan; Gerak Makan; Kecepatan Spindle; Coolant; Analisis Citra Digital

### I. PENDAHULUAN

Perkembangan industri manufaktur yang semakin pesat menuntut adanya peningkatan kualitas komponen mesin secara berkelanjutan. Proses pembubutan salah satu metode pemesinan yang paling umum digunakan untuk menghasilkan komponen berbentuk silinder dengan tingkat ketelitian dimensi yang tinggi. Salah satu indikator utama keberhasilan proses ini adalah kualitas permukaan yang dinyatakan melalui nilai kekasaran rata-rata aritmatik (Ra), karena parameter tersebut berpengaruh terhadap performa, keandalan, serta umur pakai komponen (Iswar, 2024).

Parameter pemotongan seperti feed rate dan kecepatan spindle memiliki pengaruh signifikan terhadap kualitas permukaan hasil pembubutan. Peningkatan feed rate cenderung menghasilkan permukaan yang lebih kasar akibat bertambahnya ketebalan geram, sedangkan perubahan spindle speed memengaruhi proses pemotongan melalui variasi kecepatan potong dan kondisi termal pada zona pemotongan (Pratama et al., 2024). Selain itu, penggunaan coolant juga memiliki peran penting dalam menjaga kestabilan temperatur, mengurangi gesekan antara pahat dan benda kerja, serta membantu proses pembuangan geram selama pemesinan berlangsung (Zheng et al., 2023).

Baja ST 37 banyak digunakan dalam industri manufaktur karena memiliki sifat mekanik yang stabil, tingkat kemudahan pemesinan yang baik, serta ketersediaan material yang luas. Beberapa penelitian terkait pengaruh parameter pemotongan terhadap kekasaran permukaan pada material ini telah dilakukan, antara lain oleh Nurrohkeyati (2023), Syaputra (2022), serta

Govinda & Aziz (2019). Namun demikian, penelitian yang secara khusus menjadikan variabel coolant sebagai faktor eksperimen independen masih relatif terbatas.

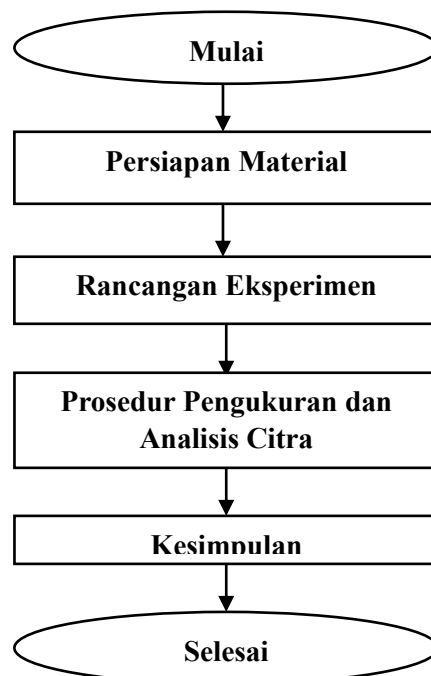
Dalam penelitian ini digunakan metode analisis citra digital dengan perangkat lunak ImageJ sebagai alternatif pengukuran non-kontak dibandingkan profilometer konvensional. Metode ini bekerja dengan memanfaatkan hubungan antara distribusi intensitas piksel pada citra grayscale permukaan dan kondisi topografi aktual material. Pendekatan berbasis pengolahan citra ini telah digunakan dalam beberapa studi sebelumnya, seperti yang dilakukan oleh Yanuar et al. (2024), yang menunjukkan potensi metode tersebut dalam estimasi kekasaran permukaan secara komparatif.

Adapun tujuan penelitian ini adalah: (1) mengetahui pengaruh feed rate terhadap  $R_a$ ; (2) mengetahui pengaruh spindle speed terhadap  $R_a$ ; (3) menganalisis pengaruh penggunaan coolant terhadap  $R_a$ ; (4) menentukan kombinasi parameter pemotongan yang paling optimal; serta

## II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan eksperimen dengan variasi spindle speed dan feed rate pada proses pembubutan baja ST 37, sedangkan parameter lain dibuat konstan. Rancangan penelitian mengacu pada studi sebelumnya yang membahas pengaruh parameter pemesinan terhadap kekasaran permukaan (Fauzi & Sumbodo, 2021).

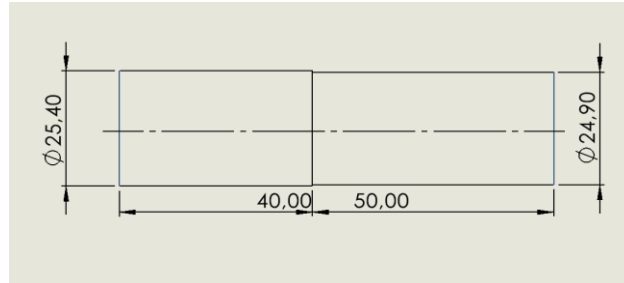
Kekasaran permukaan diukur menggunakan analisis citra digital dengan perangkat lunak ImageJ untuk memperoleh nilai estimasi  $R_a^{est}$ . Metode ini didasarkan pada distribusi intensitas piksel citra permukaan spesimen sebagai data komparatif antar variasi proses (Agodang et al., 2026).



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

## 1. Persiapan Material

- a. Menyiapkan benda uji atau material yang akan diuji yaitu Baja ST 37 dengan total sebanyak 8 pcs, spindle speed yang digunakan adalah 315 rpm dan 400 rpm, sedangkan feed rate yang digunakan adalah 0,040 mm/putaran dan 0,100 mm/putaran.



Gambar 2 Spesimen uji

- b. Menyiapkan dan melakukan proses pembubutan spesimen dengan dimensi Diameter 30 mm x Panjang 80 mm pada baja st 37



Gambar 3 Spesimen sesudah pembubutan

## 2. Rancangan Eksperimen

Penelitian ini menggunakan desain faktorial penuh  $2^3$  dengan tiga faktor dan dua level pada masing-masing faktor, akan menghasilkan delapan kombinasi perlakuan. Variabel bebas terdiri atas: spindle speed (315 rpm dan 400 rpm), feed rate (0,040 mm/putaran dan 0,100 mm/putaran), serta kondisi coolant (dengan coolant dan tanpa coolant). Setiap kombinasi yang diterapkan pada spesimen berbeda untuk menghindari pengaruh riwayat pemotongan. Detail variasi parameter disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Variasi Parameter Pemesinan Baja ST 37

No. Sp.	Spindle Speed (rpm)	Feed Rate (mm/put.)	Coolant
1	315	0,040	Ada
2	315	0,100	Ada
3	400	0,040	Ada
4	400	0,100	Ada
5	315	0,040	Tidak Ada
6	315	0,100	Tidak Ada
7	400	0,040	Tidak Ada
8	400	0,100	Tidak Ada

### 3. Prosedur Pengukuran dan Analisis Citra

Setiap spesimen hasil pembubutan difoto menggunakan mikroskop optik pada perbesaran yang seragam. Citra kemudian dikonversi ke format 8-bit grayscale menggunakan ImageJ. Untuk setiap spesimen, tiga area pengukuran yang tidak saling tumpang tindih ditetapkan secara representatif. Melalui fitur Analyze > Plot Profile, distribusi nilai gray value (GV) sepanjang garis pengukuran diekstrak, menghasilkan N titik data. Nilai RATA-RATA (mean absolute deviation dari mean line) yang dihasilkan ImageJ secara struktural identik dengan rumus Ra diskrit ISO 4287:1997:

$$IKBC = (1/N) \times \sum |y_i - \bar{y}| \text{ (satuan GV)}$$

Konversi dari gray value (GV) ke estimasi kekasaran mikrometer dilakukan menggunakan persamaan empiris dengan faktor skala kalibrasi  $k = 2,5 \mu\text{m}$ , dipilih berdasarkan rentang kekasaran tipikal proses pembubutan baja karbon rendah (kelas N6–N8 ISO):

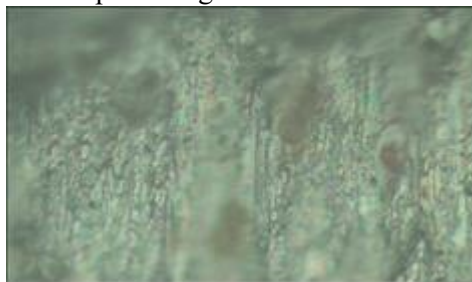
$$Ra_{est} (\mu\text{m}) = IKBC (GV) \times (2,5 / 255) = IKBC \times 0,009804 \mu\text{m/GV}$$

Nilai Raest per spesimen merupakan rata-rata aritmatik dari tiga area pengukuran (Taha & Abdulateef, 2021). Analisis dilakukan secara komparatif deskriptif dengan menjaga keseragaman kondisi akuisisi citra (jenis mikroskop, pencahayaan, jarak, dan orientasi spesimen) untuk memastikan validitas komparatif antar kondisi.

## III. HASIL PENELITIAN

### 1. Hasil Pengamatan Permukaan dan Analisis Imagej

Pengamatan permukaan dilakukan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran yang seragam dapat dilihat pada Gambar 4, kemudian citra dianalisis menggunakan perangkat lunak ImageJ pada 24 area pengukuran (8 spesimen  $\times$  3 area). Hasil ekstraksi profil intensitas menunjukkan variasi nilai gray value pada setiap spesimen, yang mencerminkan perbedaan kondisi permukaan akibat variasi parameter pemotongan.



Gambar 4. Hasil Pengamatan Mikroskop Optik

Pengolahan citra ImageJ dilakukan pada 24 titik pengukuran (8 spesimen  $\times$  3 area per spesimen). Tabel 2 menyajikan data gray value hasil ekstraksi profil intensitas beserta hasil konversi Raest untuk setiap area pengukuran.

Tabel 2. Data Hasil Pengolahan Citra ImageJ

No.	Spesimen	SS (rpm)	FR (mm/put)	Coolant	IKBC (GV)	Ra <sup>est</sup> ( $\mu\text{m}$ )
1	Sp.1-A1	315	0,040	Ada	143,12	1,403
2	Sp.1-A2	315	0,040	Ada	154,02	1,510
3	Sp.1-A3	315	0,040	Ada	160,21	1,571
4	Sp.2-A1	315	0,100	Ada	165,87	1,626

## 2. Rekapitulasi Raest Rata-rata per Spesimen

Nilai Raest rata-rata per spesimen dihitung sebagai rata-rata aritmatik dari tiga area pengukuran. Rekapitulasi hasil disajikan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3 Hasil Nilai Kekasaran Rata-rata per Spesimen

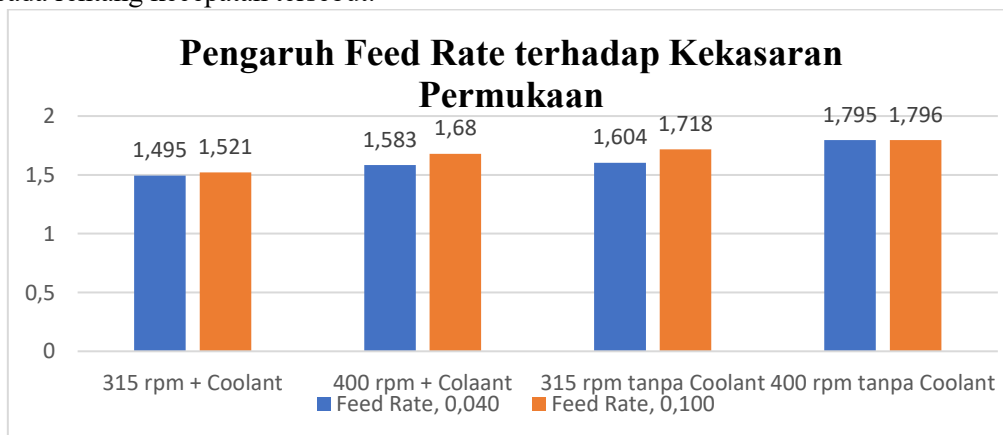
No. Sp.	SS (rpm)	FR (mm/put.)	Coolant	Raest Area 1 ( $\mu\text{m}$ )	Raest Area 2 ( $\mu\text{m}$ )	Raest Area 3 ( $\mu\text{m}$ )	Raest Rata-rata ( $\mu\text{m}$ )
1	315	0,040	Ada	1,403	1,510	1,571	1,495
2	315	0,100	Ada	1,626	1,490	1,446	1,521
3	400	0,040	Ada	1,728	1,686	1,336	1,583
4	400	0,100	Ada	1,649	1,548	1,843	1,680
5	315	0,040	Tidak	1,579	1,656	1,578	1,604
6	315	0,100	Tidak	1,845	1,786	1,522	1,718
7	400	0,040	Tidak	1,890	1,709	1,785	1,795
8	400	0,100	Tidak	1,810	1,755	1,822	1,796

## IV. PEMBAHASAN

### 1. Pengaruh Feed Rate terhadap Kekasaran Permukaan

Gambar 5 Menunjukkan spindle speed dari 315 rpm dengan coolant nilai Ra meningkat dari 1,495  $\mu\text{m}$  menjadi 1,521  $\mu\text{m}$ . Pada 400 rpm dengan coolant, peningkatan yang lebih terlihat terjadi dari 1,583  $\mu\text{m}$  menjadi 1,680  $\mu\text{m}$ . Hal serupa juga terjadi pada kondisi 315 rpm tanpa coolant, di mana nilai Raest meningkat dari 1,604  $\mu\text{m}$  menjadi 1,718  $\mu\text{m}$ . Namun, pada kondisi 400 rpm tanpa coolant, perubahan nilai Raest relatif sangat kecil, yaitu dari 1,795  $\mu\text{m}$  menjadi 1,796  $\mu\text{m}$ . peningkatan feed rate dari 0,040 menjadi 0,100 mm/putaran secara konsisten meningkatkan nilai Raest pada tiga dari empat kondisi pengujian, dengan rentang kenaikan 1,74% hingga 7,11%.

Perbedaan pengaruh dibandingkan beberapa studi, seperti Mubarok et al. (2023) yang menemukan penurunan Ra seiring kenaikan spindle speed pada rentang 330–500 rpm untuk baja ST-42, dijelaskan melalui efek zona kecepatan potong. Temuan Abimayu dan Nurdin (2019) pada aluminium 6061 dalam rentang 740–1.230 rpm juga menunjukkan tren kenaikan Ra, konsisten dengan penelitian ini, karena aluminium memiliki konduktivitas termal yang berbeda dan sensitivitas lebih tinggi terhadap efek termal pada rentang kecepatan tersebut.

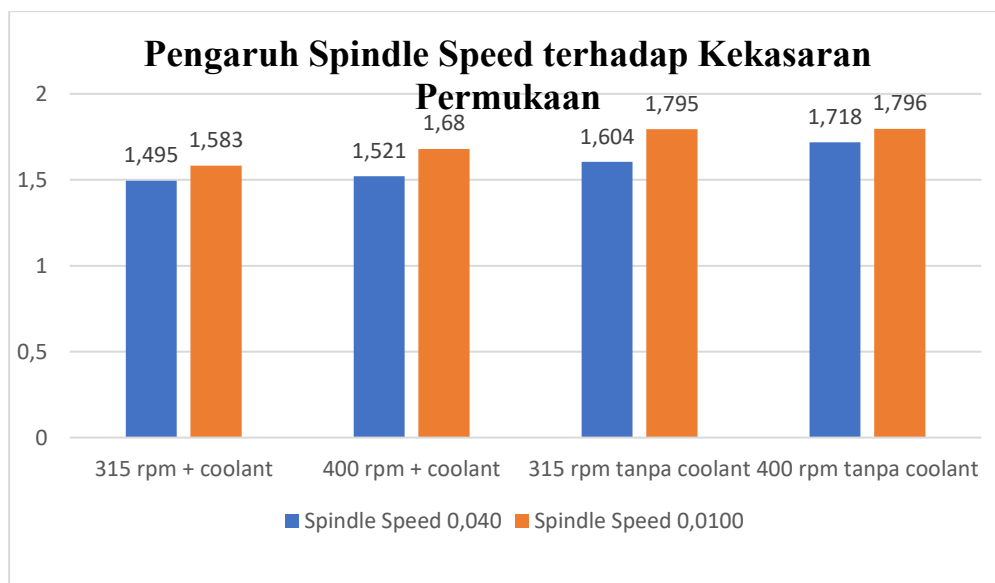


Gambar 5 Grafik Pengaruh Feed Rate terhadap Kekasaran Permukaan

## 2. Pengaruh Spindle Speed terhadap Kekasaran Permukaan

Gambar 6 menunjukkan perubahan spindle speed dari 315 rpm menjadi 400 rpm memberikan pengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan (Ra<sub>est</sub>) pada seluruh kondisi pengujian. Pada kondisi feed rate 0,040 mm/putaran dengan penggunaan coolant, nilai Ra<sub>est</sub> mengalami peningkatan dari 1,495  $\mu\text{m}$  menjadi 1,583  $\mu\text{m}$ . Hal yang sama juga terlihat pada feed rate 0,100 mm/putaran dengan coolant, di mana nilai Ra<sub>est</sub> meningkat dari 1,521  $\mu\text{m}$  menjadi 1,680  $\mu\text{m}$ . Untuk kondisi tanpa coolant, peningkatan kekasaran juga terjadi. Pada feed rate 0,040 mm/putaran, nilai Ra<sub>est</sub> naik dari 1,604  $\mu\text{m}$  menjadi 1,795  $\mu\text{m}$ . Sedangkan pada feed rate 0,100 mm/putaran, nilai Ra<sub>est</sub> meningkat dari 1,718  $\mu\text{m}$  menjadi 1,796  $\mu\text{m}$ . Peningkatan spindle speed dari 315 rpm menjadi 400 rpm menghasilkan kenaikan Ra<sub>est</sub> pada seluruh empat kondisi pengujian, dengan rentang kenaikan 4,54–11,91%.

Perbedaan arah pengaruh dibandingkan beberapa studi, seperti Mubarak et al. (2023) yang menemukan penurunan Ra seiring kenaikan spindle speed pada rentang 330–500 rpm untuk baja ST-42, dijelaskan melalui efek zona kecepatan potong. Pada kecepatan yang lebih tinggi dan dalam rentang yang tepat untuk kombinasi material-pahat tertentu, peningkatan kecepatan justru menguntungkan karena mempercepat pergeseran chip dan mengurangi BUE. Temuan Abimayu dan Nurdin (2019) pada aluminium 6061 dalam rentang 740–1.230 rpm juga menunjukkan tren kenaikan Ra, konsisten dengan penelitian ini, karena aluminium memiliki konduktivitas termal yang berbeda dan sensitivitas lebih tinggi terhadap efek termal pada rentang kecepatan tersebut.



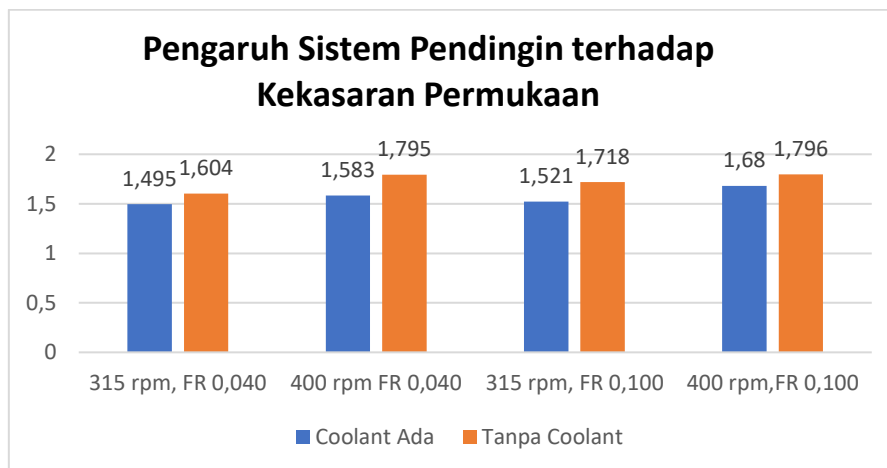
Gambar 6 Grafik Pengaruh Spindle Speed terhadap kekasaran permukaan

## 3. Pengaruh Sistem Pendingin terhadap Kekasaran Permukaan

Gambar 7 menunjukkan penggunaan coolant memberikan pengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan (Ra<sub>est</sub>) pada seluruh kondisi pengujian. Pada spindle speed 315 rpm dengan feed rate 0,040 mm/putaran, nilai Ra<sub>est</sub> dengan coolant sebesar 1,495  $\mu\text{m}$ , sedangkan tanpa coolant meningkat menjadi 1,604  $\mu\text{m}$ . Hal yang sama juga terlihat pada spindle speed 400 rpm dengan feed rate 0,040 mm/putaran, di mana nilai Ra<sub>est</sub> dengan coolant sebesar 1,583  $\mu\text{m}$  dan tanpa coolant meningkat menjadi 1,795  $\mu\text{m}$ .

Selanjutnya, pada feed rate 0,100 mm/putaran, penggunaan coolant pada 315 rpm menghasilkan nilai Ra<sub>est</sub> sebesar 1,521  $\mu\text{m}$ , sedangkan tanpa coolant meningkat menjadi 1,718  $\mu\text{m}$ . Pada kondisi 400 rpm, nilai Ra<sub>est</sub> dengan coolant sebesar 1,680  $\mu\text{m}$  dan tanpa coolant sedikit lebih tinggi yaitu 1,796  $\mu\text{m}$ .

µm Temuan ini memperkuat hasil penelitian Jauhari et al. (2023) yang mengkonfirmasi pengaruh positif coolant terhadap kekasaran permukaan baja EMS-45, serta Setyawan dan Iswanto (2023) yang menunjukkan bahwa cairan pendingin secara konsisten menurunkan kekasaran pada pembubutan baja AISI 4140. Rahmi et al. (2022) juga menegaskan bahwa penggunaan coolant pada proses bubut baja AISI 4140 memberikan nilai Ra yang lebih rendah dibandingkan kondisi kering. Keunikan penelitian ini dibandingkan kelima jurnal perbandingan dalam Tabel 8 adalah dimasukkannya coolant sebagai variabel bebas yang secara eksplisit dievaluasi, menghasilkan kontribusi empiris baru dalam literatur pemesinan baja ST 37.



Gambar 7 Grafik Pengaruh Sistem Pendingin terhadap kekasaran permukaan

#### 4. Parameter Optimal dan Terburuk

Kondisi parameter yang menghasilkan estimasi kekasaran permukaan terendah adalah spindle speed 315 rpm, feed rate 0,040 mm/putaran menggunakan coolant, menghasilkan  $Ra^{est} = 1,495 \mu m$ . Pada kondisi ini, seluruh faktor yang berkontribusi pada kualitas permukaan yang baik bekerja secara sinergis: feed rate rendah menghasilkan pitch lembah-puncak profil yang minimal, kecepatan putaran sedang menghasilkan pembangkitan panas yang lebih rendah, dan coolant memberikan pendinginan serta pelumasan optimal. Sebaliknya, kombinasi terburuk adalah spindle speed 400 rpm, feed rate 0,100 mm/putaran, tanpa coolant ( $Ra^{est} = 1,796 \mu m$ ). Selisih  $Ra^{est}$  antara kondisi terbaik dan terburuk adalah  $0,301 \mu m$  (20,13%), menunjukkan variasi yang signifikan dalam rentang parameter yang diuji. Seluruh spesimen berada dalam kelas kekasaran N7 standar ISO ( $Ra \approx 1,6 \mu m$ ), yang merupakan kelas kekasaran tipikal untuk proses pembubutan semi-finishing pada baja karbon rendah (Nurrohkatyati, 2023).

#### V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa beberapa hal. Metode analisis citra menggunakan ImageJ mampu memberikan estimasi nilai kekasaran permukaan ( $Ra$ ) yang konsisten dan cukup baik untuk perbandingan antar kondisi, meskipun tidak merepresentasikan nilai absolut. Peningkatan feed rate dari 0,040 mm/putaran menjadi 0,100 mm/putaran cenderung meningkatkan nilai Ra, sejalan dengan teori pembentukan kekasaran pada proses pembubutan. Hal yang sama juga terjadi pada kenaikan spindle speed dari 315 rpm ke 400 rpm yang turut meningkatkan kekasaran permukaan. Penggunaan coolant terbukti mampu menurunkan nilai Ra, menunjukkan perannya dalam memperbaiki kualitas permukaan melalui pendinginan dan pelumasan. Kondisi terbaik diperoleh pada spindle speed 315 rpm dan feed rate 0,040 mm/putaran dengan coolant ( $Ra = 1,495 \mu m$ ), sedangkan kondisi terburuk pada spindle speed 400 rpm, feed rate 0,100 mm/putaran tanpa coolant ( $Ra = 1,796 \mu m$ ). Secara umum, seluruh spesimen masih berada pada kelas kekasaran N7 standar ISO.

## VI. REFERENSI

- Agodang, H., Maulidin, Saputra, E., Tanjung, I., & Nasution, A. R. (2026). Studi eksperimental pengaruh parameter pemakanan terhadap kekasaran permukaan baja AISI 1045 pada proses pemesinan bubut. *Jurnal Pemesinan*, 9(1), 131–137.
- Arga, D. T., Pusvyta, Y., & Budiman, A. Y. (2025). Analisis pengaruh variasi parameter pemotongan terhadap kekasaran permukaan pada proses bubut menggunakan metode Taguchi. *Jurnal Teknik Mesin Terapan*, 4(4), 1139–1146.
- Fauzi, A., & Sumbodo, W. (2021). Pengaruh parameter pemakanan terhadap kekasaran permukaan ST 40 pada mesin bubut CNC. *Jurnal Teknik Mesin UNESA*, 6(April), 46–57.
- Govinda, K., & Aziz, A. (2019). Effect of cutting speed, feeding, and depth of cut on the surface roughness level of steel ST 37 on shaping machines. *Journal of Mechanical Engineering*, 2(1), 1–6.
- Iswar, R. M. (2024). Analisis kekasaran mesin bubut konvensional dan CNC TU-2A dengan RPM 1500 menggunakan poros aluminium. *Journal of Applied Mechanical Engineering and Renewable Energy*, 4(1), 6–10.
- Jauhari, N. A., Widodo, R. D., & Masugino. (2023). Pengaruh media pendingin (coolant) dan geometri pahat potong terhadap tingkat kekasaran dan makrostruktur pada pembubutan rata memanjang bahan baja EMS-45. *Jurnal Teknik Mesin*, 12(1).
- Mubarok, K., Saputro, A., & Mustajib, M. I. (2023). Exploratory investigation on the influence of machining parameters on surface roughness and tool wear in the turning process of steel ST-42. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 8(1), 1–6.
- Nurrohkayati, A. S. (2023). Analisis parameter proses pembubutan terhadap kekasaran permukaan baja ST 37 menggunakan metode Taguchi. *Jurnal Teknik Terapan dan Teknologi Mesin*, 4(April), 28–35. <https://doi.org/10.37373/jttm.v4i1.376>
- Pratama, A. I., Hadi, F. S., Rosadi, M. M., et al. (2024). Pengaruh variasi putaran spindle dan feeding terhadap kekasaran permukaan material aluminium seri 6 pada proses surface turning menggunakan mesin bubut CNC tipe XTRA-420. *Jurnal Teknik Mesin*, 1(6), 331–337.
- Taha, O. wathik, & Abdulateef, O. F. (2021). *SURFACE ROUGHNESS PREDICTION IN TURNING PROCESS BY APPLYING COMPUTER VISION METHOD*. 22(2), 249–260.
- Rahmi, M., Umam, K., & Kunci, K. (2022). Pengaruh penggunaan cairan pendingin (coolant) dan perbedaan waktu pada proses bubut terhadap kekasaran permukaan baja AISI 4140. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin*, 13–14.
- Setyawan, A. H., & Iswanto, I. (2023). Pengaruh putaran spindel dan cairan pendingin terhadap kekasaran permukaan baja AISI 4140 pada proses pembubutan. *Journal of Renewable Engineering and Manufacture*, 4(1). <https://doi.org/10.21070/r.e.m.v4i1.2629>
- Syaputra, H. (2022). Rancangan struktur dan manufaktur surface roughness baja ST 37 pada proses bubut menggunakan mata pahat karbida. *Jurnal Teknik Mesin*, 2, 1–11.
- Yanuar, B., Harun, S., Ibrahim, G. A., & Hamni, A. (2024). Optimization of tool wear and surface roughness in ST37 steel turning process with varying tool angles and machining parameters. *Journal of Mechanical Engineering*, 22(3), 315–318.
- Zheng, K., Pramanik, A., Basak, A. K., Dong, Y., Prakash, C., Shankar, S., Dixit, S., Kumar, K., & Ivanovich, N. (2023). Application of coolants during tool-based machining—A review. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(1), 101830. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101830>