

Pengaruh Jumlah Mata Sayat End Milling Cutter Dengan Jenis Pemakan Searah dan Tidak Searah Terhadap Kekasaran Permukaan Poros Double Dumpers Bahan ST 45 C

**Jefri Simalango¹, Yudhi Hariansyah² Fransnazon Sitorus³
Muhammad Iqbal Harapan Muslim. Siregar⁴, Golfrid Gultom⁵
Naqasya Asyrori Sidabutar⁶ Dejoir Irfian Situngkir⁷**

^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.} Politeknik Teknologi Kimia Industri Medan
Email: nasyrori.sidabutar@ptki.ac.id

Abstract

This study analyzes the effect of end milling cutter flute number and feed direction on the surface roughness of an ST 45 C double dumpers shaft keyway. The experiment was carried out using a vertical milling machine with carbide end milling cutters of 3, 4, and 5 flutes. The workpiece was ST 45 C steel with a shaft length of 100 mm and a keyway length of 40 mm. Surface roughness was measured at three points using a Surfscorder SE-300. The results show that in down milling, the average roughness increased from 0.623 μm for the 3-flute cutter to 0.783 μm for the 4-flute cutter and 1.031 μm for the 5-flute cutter. In up milling, the roughness values were less stable, namely 0.800 μm , 1.710 μm , and 0.650 μm for the 3-, 4-, and 5-flute cutters, respectively. With an 8 mm cutter diameter and 2220 rpm spindle speed, the calculated cutting speed was 55.766 m/min. These findings indicate that cutter flute number and feed direction influence the surface quality of the keyway.

Keywords: End Milling, Surface Roughness, Cutting Speed, Feed Direction, ST 45 C

Abstrak

Penelitian ini menganalisis pengaruh jumlah mata sayat end milling cutter dan jenis pemakanan terhadap kekasaran permukaan alur pasak pada poros double dumpers berbahan ST 45 C. Proses penelitian dilakukan menggunakan mesin frais vertikal dengan variasi pisau end milling cutter carbide berjumlah 3, 4, dan 5 mata sayat. Benda kerja menggunakan baja ST 45 C berbentuk poros dengan panjang 100 mm dan panjang alur pasak yang difrais 40 mm. Pengujian kekasaran permukaan dilakukan pada tiga titik menggunakan Surfscorder SE-300. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada pemakanan searah, nilai kekasaran rata-rata meningkat dari 0,623 μm pada 3 mata sayat menjadi 0,783 μm pada 4 mata sayat dan 1,031 μm pada 5 mata sayat. Pada pemakanan tidak searah, nilai kekasaran cenderung tidak stabil, yaitu 0,800 μm , 1,710 μm , dan 0,650 μm . Dengan diameter pisau 8 mm dan putaran spindel 2220 rpm, kecepatan potong yang dihasilkan sebesar 55,766 m/menit. Temuan ini menunjukkan bahwa jumlah mata sayat dan arah pemakanan berpengaruh terhadap kualitas permukaan alur pasak.

Kata Kunci: End Milling, Kekasaran Permukaan, Kecepatan Potong, ST 45 C

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri manufaktur saat ini menuntut proses produksi yang mampu menghasilkan komponen dengan tingkat presisi tinggi, kualitas permukaan yang baik, serta efisiensi proses yang optimal. Salah satu indikator penting dalam menentukan kualitas hasil proses pemesinan adalah nilai kekasaran permukaan (surface roughness).

Nilai kekasaran permukaan berpengaruh terhadap ketahanan aus, umur pakai komponen, kemampuan pelumasan, ketahanan lelah (fatigue strength), serta ketelitian penyambungan antar komponen mekanik. Oleh karena itu, pengendalian parameter proses pemesinan menjadi salah satu faktor utama dalam meningkatkan kualitas produk manufaktur [1], [2].

Proses frais (milling) merupakan salah satu proses pemesinan yang paling banyak digunakan dalam industri karena mampu menghasilkan berbagai bentuk geometri dengan tingkat akurasi yang tinggi. Pada proses ini, kualitas permukaan hasil pemesinan dipengaruhi oleh berbagai parameter, seperti kecepatan potong (cutting speed), putaran spindle, gerak makan (feed rate), kedalaman potong, geometri pahat, jumlah mata sayat (number of flutes), material benda kerja, serta metode pemakanan yang digunakan. Kombinasi parameter tersebut sangat menentukan kualitas permukaan, produktivitas, serta umur pahat yang digunakan [3], [4].

Salah satu parameter yang masih menjadi perhatian dalam proses end milling adalah jumlah mata sayat (number of cutting edges). Jumlah mata sayat memengaruhi pembentukan geram, distribusi gaya potong, getaran selama proses pemesinan, dan temperatur pada daerah pemotongan. Semakin banyak jumlah mata sayat, semakin besar frekuensi kontak antara pahat dengan benda kerja sehingga karakteristik permukaan yang dihasilkan juga berubah. Selain itu, strategi pemakanan berupa down milling (pemakanan searah) dan up milling (pemakanan tidak searah) memberikan mekanisme pemotongan yang berbeda sehingga dapat menghasilkan kualitas permukaan yang berbeda pula [5], [6].

Material baja ST 45 C merupakan baja karbon sedang yang banyak diaplikasikan sebagai bahan pembuatan poros, roda gigi,udukan pasak (keyway), serta berbagai komponen transmisi karena memiliki kombinasi kekuatan mekanik dan kemampuan pemesinan yang baik. Pada proses pembuatan alur pasak, kualitas permukaan hasil frais menjadi faktor penting karena berpengaruh terhadap ketepatan pemasangan pasak, distribusi beban, kemampuan transmisi torsi, dan umur pakai komponen. Permukaan yang terlalu kasar dapat meningkatkan konsentrasi tegangan dan mempercepat keausan, sedangkan permukaan yang terlalu halus dapat menurunkan kemampuan penguncian antara poros dan pasak [7].

Beberapa penelitian terdahulu telah melaporkan bahwa parameter pemotongan seperti kecepatan potong, gerak makan, kedalaman potong, dan diameter pahat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran permukaan hasil proses milling [2], [4], [8]. Penelitian lainnya menunjukkan bahwa metode down milling cenderung menghasilkan kualitas permukaan yang lebih baik dibandingkan up milling karena gaya potong yang lebih stabil serta pembentukan geram yang lebih efektif, [5], [9]. Namun demikian, penelitian mengenai pengaruh jumlah mata sayat end milling cutter yang dikombinasikan dengan jenis pemakanan searah dan tidak searah pada proses pembuatanudukan pasak poros Double Dumpers berbahan ST 45 C masih relatif terbatas. Kondisi tersebut menunjukkan adanya research gap yang perlu dikaji lebih lanjut untuk memperoleh parameter pemesinan yang mampu menghasilkan kualitas permukaan optimum.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi jumlah mata sayat end milling cutter pada proses pemakanan searah (down milling) dan tidak searah (up milling) terhadap kekasaran permukaan dudukan pasak poros Double Dumpers berbahan ST 45 C. Selain menganalisis pengaruh jumlah mata sayat dan jenis pemakanan terhadap kekasaran permukaan, penelitian ini juga menghitung kecepatan potong (cutting speed) pada setiap variasi putaran spindle untuk mengevaluasi hubungannya dengan kualitas permukaan hasil proses frais. Analisis tersebut diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kombinasi parameter pemotongan yang optimum sehingga mampu meningkatkan kualitas permukaan, produktivitas proses, serta efisiensi manufaktur [10]

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen terapan pada proses frais alur pasak poros ST 45 C. Kegiatan pengambilan data dilakukan di PT Sinar Karya Andalan, Jalan Adamaris, Kelurahan Limau Manis, Kecamatan Tanjung Morawa, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara. Data diperoleh melalui observasi proses kerja, wawancara teknis dengan operator, pengukuran hasil pemesinan, serta perhitungan parameter pemotongan.

Bahan uji yang digunakan adalah baja ST 45 C berbentuk poros silindris. Dimensi spesimen meliputi panjang keseluruhan poros 100 mm, diameter poros 30 mm, dan panjang dudukan pasak yang difrais 40 mm. Alat utama yang digunakan mencakup mesin frais vertikal merek Giont 3, pisau frais jari carbide dengan diameter 8 mm, variasi jumlah mata sayat 3, 4, dan 5 flute, vernier caliper untuk pengukuran dimensi, serta Surfcoorder SE-300 untuk mengukur kekasaran permukaan.

Tabel 1. Komposisi Kimia Baja ST 45 C

C	Si	Mn	P	S	Fe
0,42-0,50%	0,10-0,40%	0,50-0,80%	0,045%	0,045%	Sisa utama

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah jumlah mata sayat end milling cutter dan arah pemakanan. Variasi jumlah mata sayat terdiri atas 3 flute, 4 flute, dan 5 flute. Arah pemakanan terdiri atas pemakanan searah, yaitu gerak meja mengikuti arah putaran cutter, dan pemakanan tidak searah, yaitu gerak meja berlawanan dengan arah putaran cutter. Variabel terikat adalah kekasaran permukaan rata-rata atau Ra. Pengukuran Ra dilakukan pada tiga titik untuk setiap spesimen, kemudian dihitung nilai rata-ratanya.

Prosedur penelitian dimulai dengan menyiapkan mesin frais, memasang benda kerja pada ragam, mengatur titik nol pemakanan, memasang pisau end milling cutter sesuai jumlah mata sayat, lalu melakukan proses frais pada alur pasak. Setelah proses pemotongan selesai, permukaan hasil frais diuji menggunakan Surfcoorder SE-300 pada tiga titik pengukuran. Kecepatan potong dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$V_c = (\pi \times d \times n) / 1000 \quad (1)$$

dengan V_c adalah kecepatan potong dalam m/menit, d adalah diameter pisau dalam mm, n adalah putaran spindle dalam rpm, dan $\pi = 3,14$. Pada perhitungan penelitian ini digunakan diameter pisau 8 mm dan putaran spindle 2220 rpm, sehingga $V_c = 55,766$ m/menit.

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran kekasaran permukaan menunjukkan perbedaan nilai Ra pada setiap kombinasi jumlah mata sayat dan arah pemakanan. Pengukuran dilakukan pada tiga titik untuk setiap spesimen, kemudian dihitung nilai rata-ratanya agar perbandingan antarvariasi lebih mudah dibaca.

Tabel 2. Hasil Kekasaran Permukaan pada Pemakanan Searah

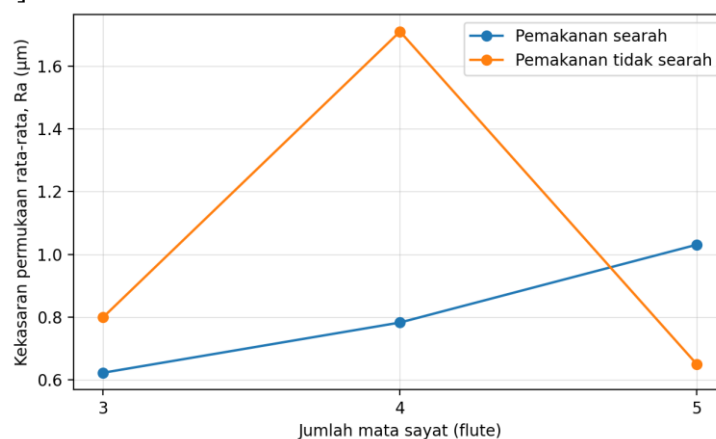
Jumlah mata sayat	Titik 1 Ra (μm)	Titik 2 Ra (μm)	Titik 3 Ra (μm)	Rata-rata Ra (μm)
3 flute	0,618	0,406	0,846	0,623
4 flute	0,891	0,704	0,755	0,783
5 flute	0,864	1,108	1,123	1,031

Pada pemakanan searah, nilai rata-rata kekasaran permukaan meningkat seiring bertambahnya jumlah mata sayat. Pisau 3 flute menghasilkan Ra rata-rata 0,623 μm , pisau 4 flute menghasilkan 0,783 μm , sedangkan pisau 5 flute menghasilkan 1,031 μm . Kecenderungan ini memperlihatkan bahwa penambahan jumlah mata sayat tidak selalu menurunkan kekasaran permukaan. Pada kondisi pengujian ini, semakin banyak mata sayat justru memperbesar kemungkinan gesekan berulang, akumulasi geram, dan getaran mikro pada daerah potong, sehingga permukaan hasil frais menjadi lebih kasar.

Tabel 3. Hasil Kekasaran Permukaan pada Pemakanan Tidak Searah

Jumlah mata sayat	Titik 1 Ra (μm)	Titik 2 Ra (μm)	Titik 3 Ra (μm)	Rata-rata Ra (μm)
3 flute	0,810	0,754	0,837	0,800
4 flute	1,704	1,904	1,523	1,710
5 flute	0,780	0,602	0,570	0,650

Pada pemakanan tidak searah, pola kekasaran tidak membentuk kecenderungan linier. Pisau 3 flute menghasilkan Ra rata-rata 0,800 μm , pisau 4 flute menghasilkan nilai paling kasar sebesar 1,710 μm , sedangkan pisau 5 flute menghasilkan nilai paling halus sebesar 0,650 μm . Ketidakstabilan ini menunjukkan bahwa arah pemakanan dapat mengubah mekanisme kontak antara mata pisau dan benda kerja. Pada pemakanan tidak searah, ketebalan geram pada awal pemotongan dapat berbeda dari pemakanan searah, sehingga respons permukaan lebih sensitif terhadap kondisi pahat, pencekaman, dan getaran [11], [12].



Gambar 1. Perbandingan kekasaran permukaan rata-rata berdasarkan jumlah mata sayat dan arah pemakanan

Berdasarkan Gambar 1, pemakanan searah menghasilkan kecenderungan peningkatan Ra dari 3 flute ke 5 flute. Sementara itu, pemakanan tidak searah menghasilkan variasi yang lebih tajam, terutama pada penggunaan 4 flute. Nilai Ra tertinggi dalam seluruh pengujian berada pada pemakanan tidak searah dengan 4 flute, yaitu 1,710 μm . Nilai Ra terendah secara keseluruhan berada pada pemakanan searah dengan 3 flute, yaitu 0,623 μm , sedangkan pemakanan tidak searah dengan 5 flute juga menghasilkan permukaan relatif halus sebesar 0,650 μm .

Perbedaan tersebut menegaskan bahwa jumlah mata sayat tidak dapat dibaca sebagai faktor tunggal. Pada proses end milling, setiap tambahan mata sayat mengubah interval kontak pahat, ruang geram, dan potensi terjadinya gesekan antara cutter dan benda kerja. Jika pelepasan geram tidak berlangsung baik, permukaan dapat tergores kembali oleh geram yang tertahan. Kondisi ini sejalan dengan konsep umum proses milling bahwa kualitas permukaan dipengaruhi oleh kombinasi parameter pemotongan, kondisi pahat, dan stabilitas proses [13], [14].

Tabel 4. Hasil Kecepatan Potong pada Proses Frais

Arah pemakanan	Jumlah mata sayat	Diameter pisau (mm)	Putaran spindel (rpm)	Kecepatan potong (m/menit)
Searah	3 flute	8	2220	55,766
Searah	4 flute	8	2220	55,766
Searah	5 flute	8	2220	55,766
Tidak searah	3 flute	8	2220	55,766
Tidak searah	4 flute	8	2220	55,766
Tidak searah	5 flute	8	2220	55,766

Perhitungan kecepatan potong menghasilkan nilai yang sama pada seluruh kombinasi karena diameter pisau dan putaran spindel yang digunakan dalam perhitungan bernilai sama. Dengan $d = 8$ mm dan $n = 2220$ rpm, diperoleh V_c sebesar 55,766 m/menit. Karena kecepatan potong dibuat tetap, perbedaan kekasaran permukaan lebih banyak dikaitkan dengan jumlah mata sayat, arah pemakanan, dan kondisi interaksi pahat dengan benda kerja. Dengan kata lain, data ini memperlihatkan pengaruh geometri dan arah pemakanan pada kondisi kecepatan potong yang terkendali.

Hasil penelitian ini memberi gambaran praktis bagi proses pembuatan dudukan pasak pada poros ST 45 C. Untuk pemakanan searah, penggunaan 3 flute lebih disarankan ketika target utama adalah memperoleh Ra rendah pada kondisi parameter yang sama. Pada pemakanan tidak searah, hasil terbaik muncul pada 5 flute, tetapi pola data yang tidak stabil menunjukkan perlunya pengujian lanjutan dengan pengulangan lebih banyak, variasi kecepatan pemakanan, dan kontrol getaran [15]. Kajian lanjutan juga perlu memasukkan pengaruh pendingin, keausan pahat, kedalaman potong, dan kekakuan sistem pencekaman agar rekomendasi proses menjadi lebih kuat.

4. KESIMPULAN

Jumlah mata sayat end milling cutter dan arah pemakanan memengaruhi kekasaran permukaan alur pasak poros double dumpers berbahan ST 45 C. Pada pemakanan searah, peningkatan jumlah mata sayat dari 3 flute ke 5 flute menyebabkan nilai Ra rata-

rata meningkat dari 0,623 μm menjadi 1,031 μm . Pada pemakanan tidak searah, pola kekasaran tidak stabil, yaitu 0,800 μm pada 3 flute, 1,710 μm pada 4 flute, dan 0,650 μm pada 5 flute.

Kecepatan potong yang dihitung pada diameter pisau 8 mm dan putaran spindel 2220 rpm menghasilkan nilai 55,766 m/menit pada seluruh kombinasi pengujian. Dengan kondisi tersebut, variasi kekasaran permukaan lebih dipengaruhi oleh jumlah mata sayat dan arah pemakanan dibandingkan oleh perubahan kecepatan potong. Untuk proses fraisudukan pasak ST 45 C, pemakanan searah dengan 3 flute dapat menjadi pilihan awal karena menghasilkan nilai Ra paling rendah pada kelompok pemakanan searah. Penelitian berikutnya disarankan menambah jumlah pengulangan, menguji variasi feed rate, kedalaman potong, serta kondisi pendinginan agar hubungan antarparameter dapat dianalisis lebih menyeluruh.

5. REFERENSI

- [1] J. Paulo Dafim, *Machining of Hard Materials*, Springer, 2021.
- [2] V. Sharma, M. Dogra and N. M. Suri, "Effect of machining parameters on surface roughness in end milling," in *Materials Today*, 2021.
- [3] L. W. Hernandez, Y. S. Ahmed, D. A. Curra and R. Pérez, "Multi-Response Optimization of Milling Parameters of AISI D2," *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, vol. 9, no. 9, 2025.
- [4] M. K. Gupta, "Sustainable machining and surface integrity," *Journal of Cleaner Production*, vol. 365, 2022.
- [5] R. Singh and P. Kumar, "Experimental investigation of cutting parameters on surface roughness during end milling," in *Materials Today*, 2021.
- [6] G. M. Krolczyk, "Surface roughness prediction in milling," *Measurement*, vol. 158, 2020.
- [7] A. F. Rahman, M. Kowalska and H. Tanaka, "Effect of Cutting Parameters on Surface Roughness in CNC Milling Process," *Reswara*, vol. 3, no. 4, 2025.
- [8] C. S. Sumesh, M. V. Roshan, S. S. S. R. N and D. T. Thekkuden, "Multi-objective optimization of machining," *Journal of Materials Science*, vol. 21, no. 2, 2026.
- [9] T. Zarrouk, J.-E. Salhi, M. Nouari, M. Salhi and J. Kodad, "Influence of the cutting tool geometry on milling aluminum honeycomb structures," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 126, pp. 313-324, 2023.
- [10] J. V. Abellán-Nebot, C. V. Pastor and H. R. Siller, "A Review of the Factors Influencing Surface Roughness in Machining and Their Impact on Sustainability," *Sustainability*, vol. 16, no. 1917, 2024.
- [11] L. Chen, Y. Gao and J. Wu, "Influence of cutting parameters on surface roughness in high-speed milling of hardened steels," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 62, no. 3, pp. 1150-1156, 2022.
- [12] N. Fatima and M. Khan, "Influence of spindle speed and feed rate on surface roughness in end milling of steels," *Procedia Manufacturing*, vol. 64, pp. 998-1004, 2023.
- [13] R. Kumar, S. Singh and V. S. Sharma, "Experimental investigation of tool wear

- and surface roughness during dry end milling of alloy steels," in *Materials Today*, 2022.
- [14] p. Singh and K. Patel, "Optimization of milling parameters for improving surface finish using Taguchi and ANOVA approach," in *Materials Today*, 2023.
- [15] H. Tanaka and K. Sato, "Analysis of vibration and its effect on surface roughness in end milling processes," *Precision Engineering*, vol. 83, pp. 123-134, 2024.