



Studi eksperimental variasi *feed rate* terhadap karakteristik getaran dan kekasaran permukaan pada proses milling material aluminium 6061

Chairul Anam¹, Asmar Finali², Muhammad Fery Ardiansyah³

^{1,2,3}Politeknik Negeri Banyuwangi

email: anam@poliwangi.ac.id, asmar@poliwangi.ac.id, Fery@poliwangi.ac.id

Info Artikel :

Diterima :

14 Oktober 2025

Disetujui :

24 Oktober 2025

Dipublikasikan :

28 Oktober 2025

ABSTRAK

Proses milling merupakan salah satu metode pemesinan yang banyak digunakan dalam industri manufaktur untuk menghasilkan komponen dengan tingkat akurasi dan presisi tinggi. Keberhasilan proses ini sangat dipengaruhi oleh kestabilan dinamis mesin yang dapat diamati melalui tingkat getaran selama proses pemotongan. Getaran berlebih dapat menurunkan kualitas permukaan, mempercepat keausan pahat, serta mengurangi efisiensi produksi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi *feeding rate* terhadap karakteristik getaran dan kekasaran permukaan pada proses milling material Aluminium 6061. Eksperimen dilakukan menggunakan mesin frais konvensional dengan tiga variasi *feeding rate* yaitu 98 mm/menit, 132 mm/menit, dan 170 mm/menit, pada kedalaman potong 1 mm dan kecepatan *spindle* konstan 540 rpm. Pengukuran getaran dilakukan dengan sensor *accelerometer* ADXL345 berbasis *Arduino Uno*, sedangkan kekasaran permukaan diukur menggunakan *Surface Roughness Tester* dengan parameter *Ra* sebagai acuan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan *feeding rate* menyebabkan peningkatan nilai getaran dan kekasaran permukaan. Nilai getaran rata-rata meningkat dari 0,85 mm/s menjadi 0,92 mm/s, sedangkan nilai kekasaran meningkat dari 1,04 μm menjadi 2,19 μm . Meskipun terjadi peningkatan, seluruh nilai getaran masih berada di bawah ambang batas aman ISO 10816, sehingga proses milling berlangsung stabil. Berdasarkan hasil tersebut, *feeding rate* sebesar 98 mm/menit direkomendasikan sebagai parameter optimal untuk memperoleh kualitas permukaan terbaik dan kestabilan proses yang tinggi.

Kata kunci: Milling, Getaran, Kekasaran Permukaan, *Feeding*, Aluminium 6061, Akselerometer ADXL345

ABSTRACT

The milling process is one of the machining methods widely used in the manufacturing industry to produce components with high accuracy and precision. The success of this process is greatly influenced by the dynamic stability of the machine, which can be observed through the vibration level during the cutting process. Excessive vibration can reduce surface quality, accelerate tool wear, and reduce production efficiency. This study aims to analyze the effect of feeding rate variations on vibration characteristics and surface roughness in the milling process of Aluminum 6061 material. The experiment was conducted using a conventional milling machine with three feeding rate variations, namely 98 mm/min, 132 mm/min, and 170 mm/min, at a cutting depth of 1 mm and a constant spindle speed of 540 rpm. Vibration measurements were performed using an Arduino Uno-based ADXL345 accelerometer sensor, while surface roughness was measured using a Surface Roughness Tester with the *Ra* parameter as a reference. The results showed that an increase in feeding rate caused an increase in vibration and surface roughness values. The average vibration value increased from 0.85 mm/s to 0.92 mm/s, while the roughness value increased from 1.04 μm to 2.19 μm . Despite this increase, all vibration values remained below the ISO 10816 safety threshold, ensuring a stable milling process. Based on these results, a feeding rate of 98 mm/min is recommended as the optimal parameter for achieving the best surface quality and high process stability.

Keywords: Milling, Vibration, Surface Roughness, Feed Rate, Aluminium 6061, ADXL345 Accelerometer



©2025 Chairul Anam, Asmar Finali, Muhammad Fery Ardiansyah. Diterbitkan oleh Arka Institute. Ini adalah artikel akses terbuka di bawah lisensi Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International License.

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

PENDAHULUAN

Proses pemesinan merupakan tahap krusial dalam industri manufaktur karena menentukan presisi dan kualitas komponen. Selama pemotongan, *vibration* sering muncul dan menjadi masalah utama yang memengaruhi stabilitas proses serta mutu hasil pemesinan (Romiyadi & Azriadi, 2014). *Vibration* yang tidak terkendali dapat menimbulkan berbagai dampak negatif, seperti meningkatnya *surface roughness*, ketidaktepatan dimensi, keausan alat potong lebih cepat, serta penurunan efisiensi proses produksi (Aditiya et al., 2023; Perdana et al., 2024; Setiawan et al., 2022). Kondisi ini

menunjukkan bahwa pengendalian *vibration* menjadi aspek penting dalam menjaga kualitas dan produktivitas proses *machining* di industri.

Kualitas hasil *machining* umumnya diukur melalui parameter *surface roughness*, yang menjadi indikator kehalusan dan kualitas fungsional suatu komponen (Rochim, 2001). Nilai *roughness* yang rendah menunjukkan pemotongan yang stabil dan akurat, sedangkan nilai *roughness* tinggi mengindikasikan ketidakstabilan proses akibat pengaruh *cutting force* dan *vibration* yang besar (Aulia et al., 2022; Hawa, 2019; Rochim, 2001). Hal ini menjadi perhatian penting, terutama pada industri presisi tinggi seperti otomotif, dirgantara, dan *precision machining*, di mana performa dan umur komponen sangat bergantung pada kualitas permukaannya. Mesin milling merupakan salah satu mesin yang paling banyak digunakan dalam proses pemesinan karena mampu menghasilkan berbagai bentuk permukaan melalui teknik *face milling*, *profile milling*, dan *slotting*. Namun, permasalahan umum yang sering ditemukan di lapangan adalah ketidakstabilan getaran akibat variasi parameter pemesinan seperti *feed rate*, kecepatan *spindle*, dan kedalaman potong, yang berdampak langsung terhadap kekasaran permukaan (Jalmanto et al., 2021; Ramdan, 2021). Oleh karena itu, pemilihan parameter pemotongan yang tepat sangat menentukan hasil akhir dari proses milling.

Beberapa penelitian terdahulu menyatakan bahwa parameter pemesinan memiliki pengaruh signifikan terhadap mutu dan efisiensi proses. Variabel seperti *spindle speed*, *feed rate*, *depth of cut*, dan *cutting speed* saling berkaitan dalam menentukan kestabilan pemotongan dan kualitas permukaan benda kerja (Arjun, 2024; Hardinsi et al., 2020; Lubis, 2024). Misalnya, penelitian dengan sensor *accelerometer* berbasis *Arduino-ESP32* menunjukkan bahwa sistem pengukuran getaran dapat mendeteksi variasi *spindle speed* dari 370 hingga 1300 rpm secara akurat (Nugroho et al., 2022; Syahbilla et al., 2024). Namun demikian, penelitian tersebut belum meninjau hubungan simultan antara *feed rate* dan kekasaran permukaan.

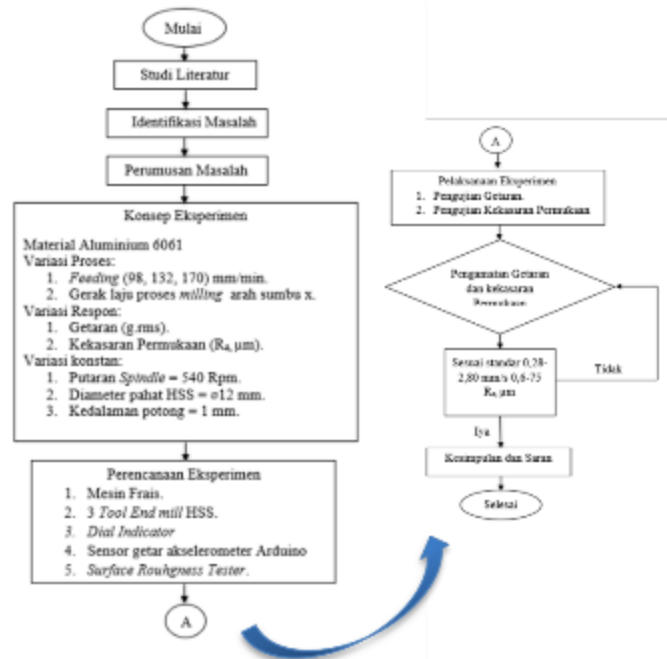
Penelitian lain membandingkan metode *up milling* dan *down milling* pada material Aluminium 6061 dan menunjukkan bahwa metode *down milling* menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih rendah (Ra 0,457 μm) dibanding *up milling* (Ra 0,553 μm) (Nugroho et al., 2022). Sementara itu, Retyawan (2015) menemukan bahwa peningkatan *feed rate* dan *depth of cut* akan meningkatkan getaran dan kekasaran permukaan secara signifikan. Penelitian lain juga melaporkan bahwa kombinasi *feed rate* 300 mm/menit, *spindle speed* 3500 rpm, dan *depth of cut* 0,4 mm menghasilkan kekasaran terendah 0,57 μm (Kelas N5), sedangkan *feed rate* 700 mm/menit menghasilkan kekasaran tertinggi 3,97 μm (Kelas N8) (Arjun, 2024).

Berdasarkan studi sebelumnya, belum ada kajian yang secara simultan meninjau hubungan antara variasi *feed rate*, tingkat *vibration*, dan *surface roughness* pada proses milling Aluminium 6061 menggunakan pahat HSS. Padahal, Aluminium 6061 banyak digunakan di industri karena ringan, mudah dibentuk, dan tahan korosi. Kondisi ini menegaskan urgensi penelitian untuk memahami pengaruh variasi *feed rate* terhadap kestabilan pemotongan dan kualitas permukaan. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi *feed rate* terhadap *vibration* dan *surface roughness*, sekaligus menentukan parameter pemakanan optimal menggunakan pahat HSS Ø12 mm agar menghasilkan permukaan berkualitas tinggi dan *vibration* minimal.

METODE PENELITIAN

Desain Eksperimen

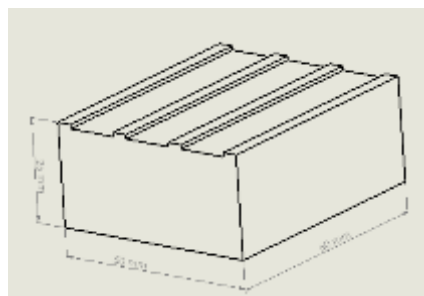
Diagram alir penelitian pada Gambar 1 menunjukkan tahapan sistematis mulai dari studi literatur, identifikasi masalah, dan perumusan konsep eksperimen dengan variasi *feeding rate* serta parameter konstan. Proses dilanjutkan dengan pengujian getaran dan kekasaran permukaan, analisis hasil, hingga penarikan kesimpulan dan saran penelitian.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Material dan Alat Penelitian

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah Aluminium 6061 dengan ukuran spesimen $60 \text{ mm} \times 50 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$. Bahan ini dipilih karena memiliki sifat mekanik yang baik, ringan, dan mudah dikerjakan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Ukuran Desain Material Aluminium 6061

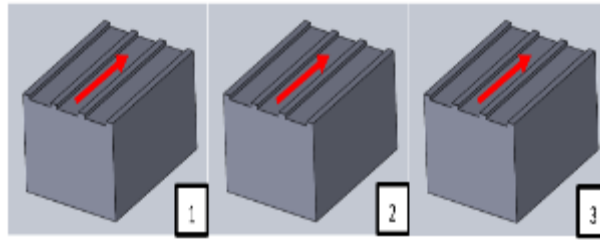
Peralatan utama yang digunakan meliputi:

1. Mesin frais konvensional ACEMT model X6328B untuk proses pemotongan.
2. Pahat end mill HSS berdiameter 12 mm sebagai alat potong.
3. Sensor *accelerometer* ADXL345 berbasis *Arduino Uno* untuk mengukur getaran selama proses pemesinan.
4. *Surface Roughness Tester* (*Surfcorder SE 800 Series*) untuk mengukur nilai kekasaran permukaan hasil pemotongan.

Prosedur Eksperimen

1. Persiapan Spesimen dan Alat
Material Aluminium 6061 dipotong sesuai ukuran, kemudian diratakan pada permukaannya dan diberi penomoran spesimen (Gambar 2). Spesimen dipasang pada ragum mesin frais dengan posisi yang presisi. Pahat end mill HSS berdiameter 12 mm kemudian dipasang pada *spindle* mesin, dan parameter pemesinan disetel sesuai variasi *feed rate* yang telah ditentukan.
2. Proses Milling
Proses milling dilakukan tiga kali pemakanan untuk setiap spesimen dengan tiga variasi *feed rate* (98 mm/menit, 132 mm/menit, dan 170 mm/menit). Kedalaman potong dijaga tetap 1 mm dengan

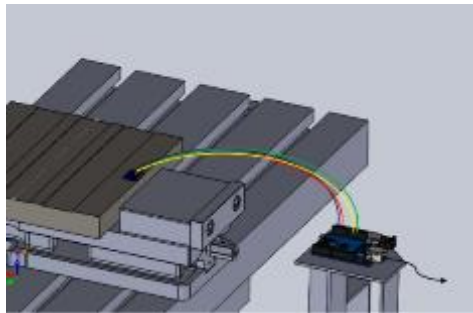
arah pemotongan searah jarum jam mengikuti sumbu X. Setiap spesimen diuji sebanyak tiga kali pengulangan untuk memperoleh data yang konsisten (Gambar 3).



Gambar 3. Spesimen 1 dengan *feeding* 98 mm/menit dilakukan tiga kali proses pemakanan; Spesimen 2 dengan *feeding* 132 mm/menit dilakukan tiga kali proses pemakanan; dan Spesimen 3 dengan *feeding* 170 mm/menit dilakukan tiga kali proses pemakanan.

Pengujian Getaran

Pengukuran getaran dilakukan menggunakan sensor *akselerometer ADXL345* yang dihubungkan ke *mikrokontroler Arduino Uno*. Sensor ditempatkan pada meja mesin frais di dekat spesimen (Gambar 4).



Gambar 4. *Arduino Uno* dan Sensor Getaran ADXL345

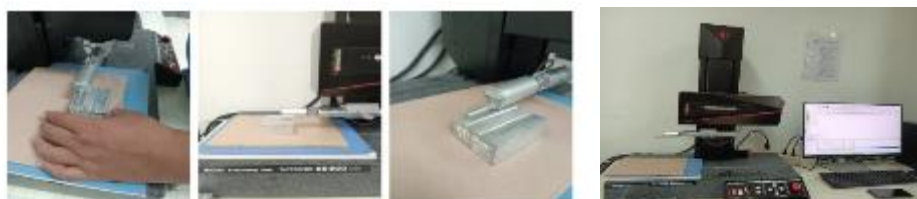
Data getaran direkam menggunakan perangkat lunak *Arduino IDE*, dan nilai amplitudo tertinggi dicatat pada layar laptop. Setiap variasi *feed rate* diuji sebanyak tiga kali untuk memperoleh nilai rata-rata getaran.

Pengujian Kekasaran Permukaan

Pengujian kekasaran permukaan dilakukan menggunakan *Surface Roughness Tester*. Prosedur pengujian meliputi:

1. Meletakkan spesimen pada permukaan datar.
2. Menempatkan jarum pengukur pada area hasil milling.
3. Menentukan panjang pengukuran sesuai standar alat.
4. Menjalankan alat untuk membaca nilai kekasaran.

Nilai kekasaran yang diperoleh berupa parameter *Ra (Roughness Average)* yang ditampilkan pada monitor (Gambar 5). Setiap spesimen diuji pada tiga titik permukaan berbeda, kemudian hasilnya dirata-ratakan.



Gambar 5. Pengambilan Data Kekasaran Permukaan Dengan *Surface Roughness*

Pengumpulan dan Analisis Data

Data hasil pengukuran getaran dan kekasaran permukaan dikumpulkan dan dianalisis secara deskriptif kuantitatif. Analisis dilakukan dengan membandingkan nilai rata-rata setiap variasi *feed rate* untuk mengetahui hubungan antara peningkatan laju pemakanan terhadap perubahan tingkat getaran dan kekasaran permukaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan data numerik yang disajikan dalam tabel dan grafik, diperoleh dari variasi *feeding rate* menggunakan pahat end mill HSS berdiameter 12 mm. Pengujian mencakup pengukuran *vibration* dan analisis *surface roughness* pada material Aluminium 6061 untuk mengevaluasi pengaruh variasi *feeding rate* terhadap kualitas hasil proses milling.

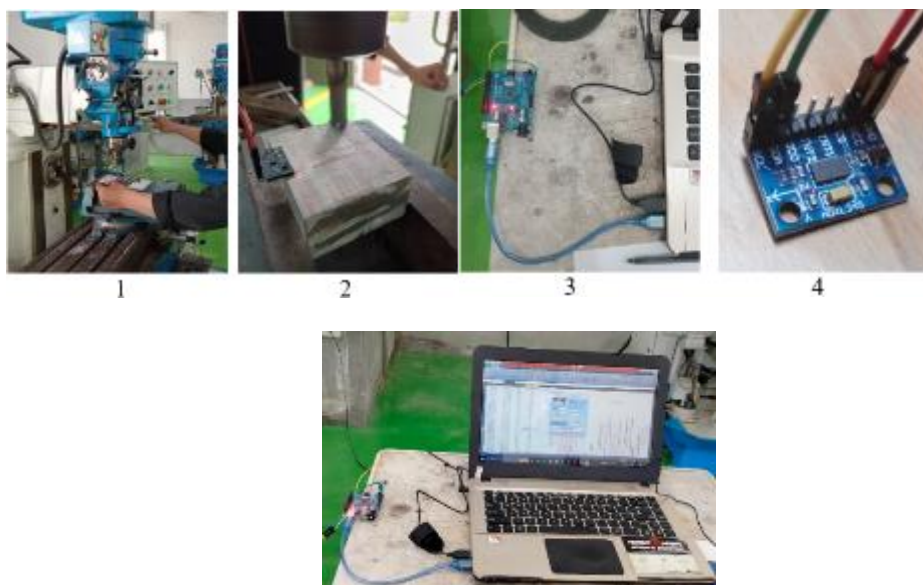
Analisis Data Hasil Pengujian Besar Getaran pada Pahat HSS

Pengujian *vibration* dilakukan menggunakan sensor *accelerometer ADXL345* berbasis *Arduino Uno* di Workshop Pemесinan Politeknik Negeri Banyuwangi. Proses milling dilaksanakan dengan mesin frais ACEMT model X6328B, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Mesin Frais ACEMT Model X6328B

Pengambilan data *vibration* dilakukan pada proses milling material Aluminium 6061 dengan variasi *feeding rate* 98 mm/menit, 132 mm/menit, dan 170 mm/menit. Proses pemasangan sensor *accelerometer ADXL345* berbasis *Arduino Uno* pada mesin ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Tahapan Pengujian *Vibration* pada Proses Milling Menggunakan Sensor *Accelerometer ADXL345* Berbasis *Arduino*

- Proses pengujian *vibration* dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu:
1. Penempatan benda kerja pada ragum mesin frais.
 2. Pemasangan sensor *accelerometer ADXL345* pada tiga spesimen yang diuji menggunakan pahat HSS berdiameter 12 mm dengan kedalaman potong 1 mm dan kecepatan *spindle* 540 rpm.
 3. Mengkoneksikan mikrokontroler *Arduino* ke laptop.
 4. Menghubungkan mikrokontroler *Arduino Uno* dengan komputer untuk merekam data *vibration* serta memantau tampilan sensor *accelerometer ADXL345* selama pengujian.

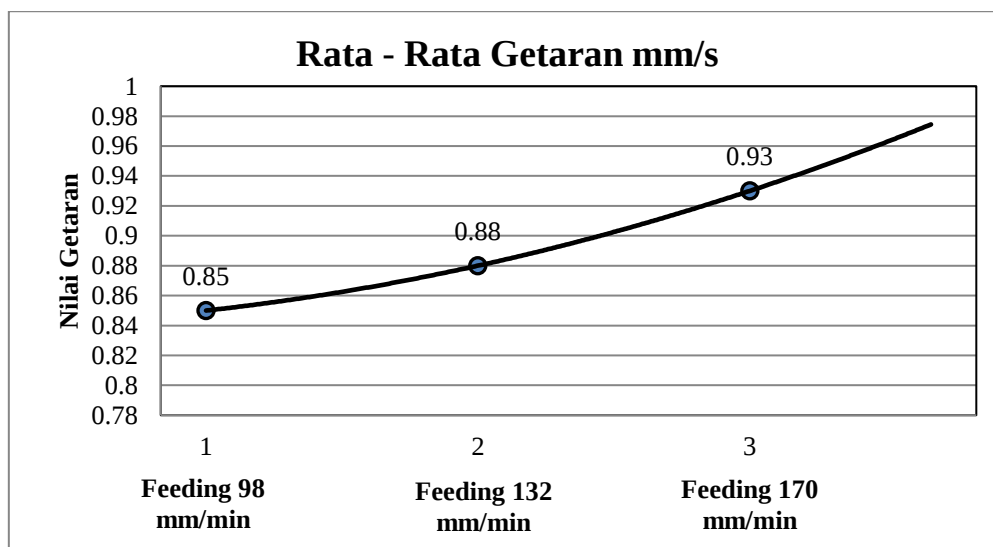
Berdasarkan gambar di atas, pengujian *vibration* dilakukan pada tiga spesimen menggunakan pahat HSS Ø12 mm. Setiap spesimen mengalami tiga titik pemakanan dan tiga kali pengujian *vibration*. Data *vibration* diambil menggunakan sensor *accelerometer ADXL345* berbasis *Arduino Uno*, dengan nilai maksimum pada monitor dijadikan acuan.

Untuk memperoleh hasil yang representatif, setiap spesimen diuji tiga kali, kemudian nilai *vibration* dari ketiga pengulangan dirata-ratakan. Hasil rata-rata nilai *vibration* dari proses milling pada material Aluminium 6061 dengan variasi *feeding rate* 98 mm/menit, 132 mm/menit, dan 170 mm/menit menggunakan pahat HSS Ø12 mm disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Uji Besar Getaran

Putaran <i>Spindle</i> (n)	Feeding (f)	Tahap Pengujian	Pahat HSS ø 12 mm	
			Besar Getaran (mm/s)	Rata - Rata Besar Getaran (mm/s)
540 rpm	98 mm/min	1	0,98	0,85
		2	0,75	
		3	0,82	
	132 mm/min	1	0,99	0,88
		2	0,98	
		3	0,66	
	170 mm/min	1	1,03	0,93
		2	0,89	
		3	0,86	

Hasil dari tabel 1 tersebut digambarkan dalam bentuk grafik, seperti yang tersaji dalam gambar 8 yang menunjukkan rata-rata nilai besar getaran yang didapat berdasarkan perbedaan *feeding* saat menggunakan pahat HSS.



Gambar 8. Rata-Rata Nilai Besar Getaran Pada Setiap *Feeding* Yang Berbeda Pada Saat Proses Milling

Berdasarkan hasil yang diperoleh, Gambar 8 menunjukkan nilai rata-rata *vibration* dari tiga variasi *feeding rate* yang berbeda. Nilai *vibration* paling rendah terjadi pada *feeding rate* 98 mm/menit, yaitu 0,85 mm/s, sedangkan nilai sedang tercatat pada *feeding rate* 132 mm/menit sebesar 0,87 mm/s. Nilai *vibration* tertinggi terjadi pada *feeding rate* 170 mm/menit, yaitu 0,92 mm/s, selama proses milling menggunakan pahat HSS Ø12 mm dan *spindle speed* 540 rpm.

Meskipun peningkatan relatif kecil, tren ini menunjukkan bahwa peningkatan *feeding rate* berbanding lurus dengan peningkatan gaya potong (*cutting force*), yang selanjutnya meningkatkan *vibration*. Namun, seluruh nilai rata-rata *vibration* masih berada di bawah ambang batas kritis 2,80 mm/s, sehingga proses *machining* dapat dikategorikan stabil.

Hasil pengujian menegaskan bahwa *feeding rate* tinggi, yaitu 170 mm/menit, menghasilkan *vibration* lebih besar dibandingkan *feeding rate* rendah, yaitu 98 mm/menit. Temuan ini konsisten dengan rata-rata *vibration* dari ketiga variasi *feeding rate*. Penelitian ini sejalan dengan (Romiyadi & Azriadi, 2014), yang menunjukkan bahwa peningkatan *feeding rate* cenderung meningkatkan tingkat *vibration* selama proses milling, karena gaya potong yang lebih besar saat pahat berinteraksi dengan benda kerja.

Oleh karena itu, pemilihan *feeding rate* yang tepat sangat penting untuk meningkatkan kualitas hasil *machining*. Batas level *vibration* yang menunjukkan kondisi mesin dapat mengacu pada standar ISO 10816, yang menggolongkan kondisi mesin berdasarkan daya (*power*) sehingga dapat menilai apakah mesin masih layak beroperasi atau memerlukan perbaikan. Nilai rata-rata *vibration* menggunakan pahat HSS Ø12 mm ditampilkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Batasan-Batasan Level Getaran

Vibration Severity Per ISO 10816					
Machine		Class I Small Machine	Class II Medium Machine	Class III Large Rigid Foundation	Class IV Large Soft Foundation
in/s	mm/s				
Vibration Velocity Vins	0.01	0.028			
	0.02	0.45			
	0.03	0.71		Good	
	0.04	1.12			
	0.07	1.80			
	0.11	2.80		Satisfactory	
	0.18	4.50			
	0.28	7.10		Unsatisfactory	
	0.44	11.2			
	0.70	18.0			
	0.71	28.0		Unacceptable	
	1.10	45.0			

Sumber: (Romiyadi & Azriadi, 2014)

Berdasarkan Tabel 2, level *vibration* mesin menurut standar ISO 10816 pada proses milling menggunakan mesin frais menunjukkan bahwa mesin berada pada kategori *Class II – Medium Machine*. Mesin frais ini berukuran sedang dengan daya (*power*) 15–75 kW dan digunakan pada tiga spesimen dengan variasi *feeding rate* berbeda, yaitu 98 mm/menit, 132 mm/menit, dan 170 mm/menit.

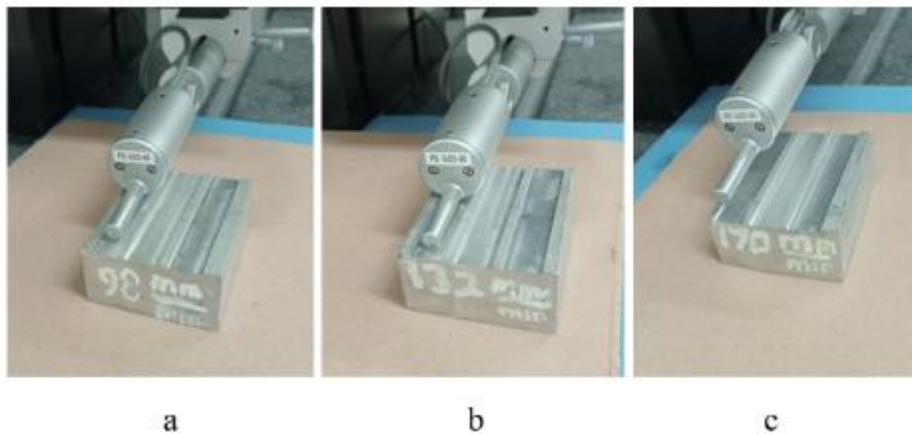
Hasil *feeding* dirata-ratakan, menghasilkan *vibration* rata-rata 0,88 mm/s selama proses milling menggunakan pahat HSS Ø12 mm. Nilai ini masih berada dalam kategori zona “Good” menurut tabel *vibration* ISO 10816. Dengan demikian, kondisi mesin frais saat proses milling tergolong prima dan aman untuk dioperasikan.

Analisis Data Hasil Uji Kekasaran Permukaan pada Pahat HSS

Pengujian *surface roughness* dilakukan menggunakan alat Kosaka Laboratory Ltd. *Surfcorder SE 800 Series* untuk menganalisis pengaruh variasi *feeding rate* 98 mm/menit, 132 mm/menit, dan 170 mm/menit pada material Aluminium 6061. Proses pengujian ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Alat Uji Kekasaran Permukaan Kosaka Laboratory Ltd. Surfscorder SE 800 series



Gambar 10. Proses Pengujian Kekasaran Permukaan dengan Variasi *Feeding*: (a) 98 mm/min, (b) 132 mm/min, dan (c) 170 mm/min

Berdasarkan hasil analisis data uji *surface roughness* pada pahat HSS, pengujian nilai kekasaran permukaan dilakukan di Laboratorium Uji Bahan Universitas Jember menggunakan alat uji *surface roughness* merek Kosaka Laboratory Ltd. Surfscorder SE 800 Series.

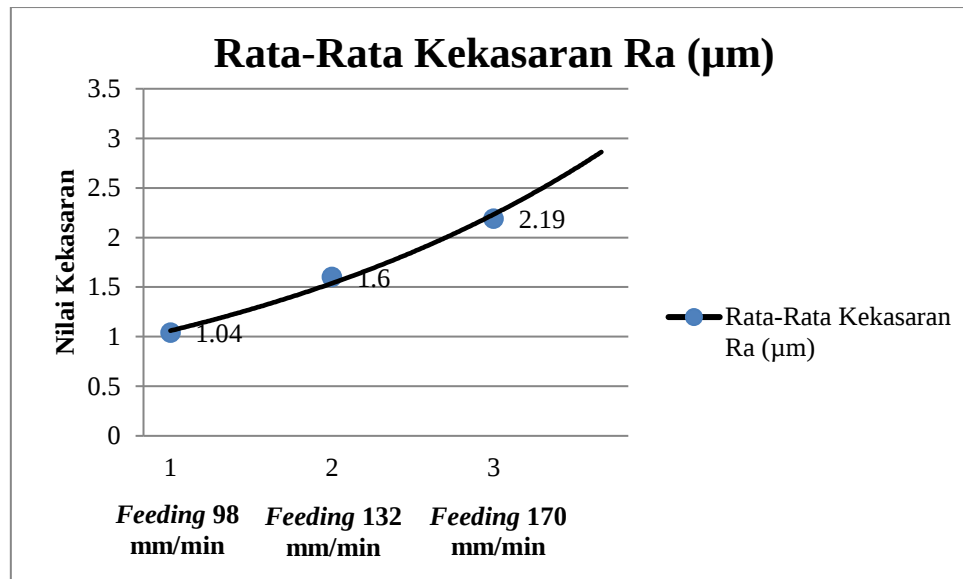
Variabel proses yang diuji meliputi tiga variasi *feeding rate*, dengan gerak laju pemakanan proses milling ke arah sumbu X pada tiga spesimen. Setiap spesimen memiliki tiga hasil proses milling, dan setiap hasil proses milling diuji sebanyak tiga kali pengulangan dengan panjang sampel 40 mm dan kecepatan pengujian 2,0 mm/s.

Dengan prosedur ini, dapat ditentukan nilai rata-rata *surface roughness* dari tiga kali pengulangan untuk setiap hasil proses milling, kemudian dihitung rata-rata dari tiga hasil proses milling pada satu spesimen tersebut.

Tabel 3. Hasil Uji Kekasaran Permukaan Pada Pahat HSS

Putaran <i>Spindle</i> (n)	Feeding (f)	Tahap Pengujian	Pahat HSS $\varnothing$ 12 mm	
			Nilai Kekasaran Ra (μ m)	Rata-Rata Kekasaran Ra (μ m)
540 rpm	98 mm/min	1	1,04	1,04
		2	1,01	
		3	1,09	
	132 mm/min	1	1,56	1,60
		2	1,43	
		3	1,82	
	170 mm/min	1	2,8	2,19
		2	1,82	
		3	1,96	

Berdasarkan hubungan nilai rata-rata perbedaan *feeding rate* menggunakan pahat jenis HSS Ø12 mm terhadap tingkat konsistensi respon *surface roughness*, dibuat grafik yang ditunjukkan pada Gambar 11, berdasarkan hasil dari Tabel 3.



Gambar 11. Rata – Rata Nilai Kekasaran Permukaan Pada Setiap Feeding

Grafik pada Gambar 11 menunjukkan nilai rata-rata *surface roughness* yang diperoleh dari tiga spesimen hasil proses milling material Aluminium 6061 menggunakan pahat HSS Ø12 mm dengan *spindle speed* konstan 540 rpm, divariasikan dengan tiga *feeding rate*, yaitu 98 mm/menit, 132 mm/menit, dan 170 mm/menit. Nilai *surface roughness* terendah tercatat pada *feeding rate* 98 mm/menit sebesar 1,04 µm, nilai sedang pada 132 mm/menit sebesar 1,60 µm, dan nilai tertinggi pada 170 mm/menit sebesar 2,19 µm.

Temuan ini sejalan dengan penelitian Aditiya et al. (2023), yang menegaskan bahwa optimasi *feeding rate* sangat penting dalam milling untuk meningkatkan kualitas permukaan Aluminium 6061. Hubungan antara variasi *feeding rate* dan nilai rata-rata *surface roughness* (Ra) menunjukkan bahwa peningkatan *feeding rate* berbanding lurus dengan peningkatan kekasaran permukaan, yaitu dari 1,04 µm pada 98 mm/menit, menjadi 1,60 µm pada 132 mm/menit, dan 2,19 µm pada 170 mm/menit.

Peningkatan Ra terjadi karena semakin tinggi *feeding rate*, semakin besar volume material yang terpotong per satuan waktu, sehingga gaya potong (*cutting force*) dan amplitudo getaran (*vibration amplitude*) meningkat. Hal ini mengurangi kemampuan pahat menghasilkan potongan halus, meninggalkan bekas geram lebih besar pada permukaan benda kerja. Selain itu, *feeding rate* tinggi mempercepat perpindahan pahat, sehingga waktu kontak dengan benda kerja berkurang dan pemotongan tidak maksimal, yang berujung pada peningkatan *surface roughness*. Fenomena ini konsisten dengan teori *conventional machining*, yang menyatakan bahwa kekasaran permukaan berbanding lurus dengan besarnya *feed per tooth* (f_z).

Secara empiris, hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Aditiya et al. (2023), Aulia et al. (2022), dan Jalmanto et al. (2021), yang menyatakan bahwa peningkatan *feed rate* signifikan meningkatkan nilai *surface roughness* Aluminium 6061. Faktor lain yang turut berpengaruh adalah meningkatnya getaran mesin akibat beban pemotongan tidak stabil pada *feeding rate* tinggi.

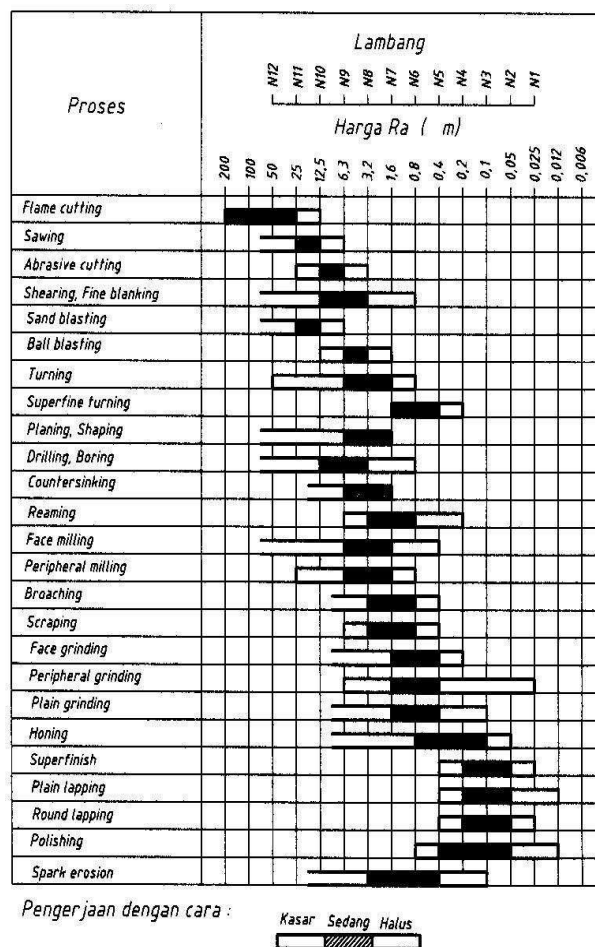
Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa *feeding rate* berpengaruh signifikan terhadap kualitas permukaan hasil milling. Dari ketiga variasi yang diuji, *feeding rate* 98 mm/menit memberikan hasil terbaik dengan nilai *surface roughness* terendah ($R_a = 1,04 \mu\text{m}$) dan direkomendasikan sebagai kondisi optimum untuk menghasilkan permukaan halus dan stabil pada milling Aluminium 6061 menggunakan pahat HSS Ø12 mm.

Tabel 4. Angka Kekasaran Sesuai dengan ISO 1302 atau DIN 4763:1981

Harga Kekasaran, Ra (μm)	Angka Kelas Kekasaran	Panjang Sampel (mm)
50	N12	8
25	N11	
12.5	N10	
6.3	N9	2.5
3.2	N8	
1.6	N7	
0.8	N6	0.8
0.4	N5	
0.2	N4	
0.1	N3	0.25
0.005	N2	
0.025	N1	0.08

Berdasarkan Tabel 4 di atas, nilai standar *surface roughness* pada pengerjaan *face milling* dapat disimpulkan bahwa setiap titik spesimen memiliki nilai rata-rata *surface roughness* (Ra) menggunakan pahat HSS Ø12 mm sebagai berikut:

1. Spesimen 1 dengan variasi *feeding rate* 98 mm/menit memiliki nilai rata-rata *surface roughness* sebesar 1,04 μm , masuk dalam kategori N6 (tingkat kekasaran halus).
2. Spesimen 2 dengan variasi *feeding rate* 132 mm/menit memiliki nilai rata-rata *surface roughness* sebesar 1,60 μm , masuk dalam kategori N7 (tingkat kekasaran normal).
3. Spesimen 3 dengan variasi *feeding rate* 170 mm/menit memiliki nilai rata-rata *surface roughness* sebesar 2,19 μm , masuk dalam kategori N8 (tingkat kekasaran sedang).



Gambar 12. Nilai Standar Kekasaran Permukaan Pada Pengerjaan Perkakas

Berdasarkan Gambar 12 menunjukkan kategori nilai *surface roughness* pada pengerjaan *face milling*, dapat disimpulkan bahwa nilai *surface roughness* menggunakan pahat HSS Ø12 mm terendah diperoleh pada Spesimen 1 dengan *feeding rate* 98 mm/menit, nilai sedang pada Spesimen 2 dengan *feeding rate* 132 mm/menit, dan nilai tertinggi pada Spesimen 3 dengan *feeding rate* 170 mm/menit. Dengan demikian, pengerjaan material Aluminium 6061 dari ketiga spesimen masuk kategori N6 untuk *feeding rate* 98 mm/menit, N7 untuk 132 mm/menit, dan N8 untuk 170 mm/menit pada *face milling*.

Dalam proses *machining*, khususnya milling, parameter *vibration* dan *surface roughness* menjadi faktor penting untuk mengevaluasi kualitas hasil pengerjaan. *Vibration* yang terjadi saat pemotongan dapat memengaruhi kestabilan dan kondisi permukaan benda kerja secara langsung. Penelitian ini bertujuan mengkaji dampak variasi *feeding rate* terhadap tingkat *vibration* dan *surface roughness* selama proses milling. Pemotongan dilakukan menggunakan pahat HSS Ø12 mm, dengan variasi *feeding rate* 98 mm/menit, 132 mm/menit, dan 170 mm/menit.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan *feeding rate* berdampak pada kenaikan *surface roughness* dan sedikit peningkatan *vibration*. Pada *feeding rate* 98 mm/menit, *surface roughness* tercatat sebesar 1,04 µm dengan *vibration* 0,85 mm/s. Saat *feeding rate* ditingkatkan menjadi 132 mm/menit dan 170 mm/menit, *surface roughness* naik menjadi 1,60 µm dan 2,19 µm, sedangkan *vibration* meningkat menjadi 0,87 mm/s dan 0,92 mm/s. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan *feeding rate* menghasilkan permukaan lebih kasar dan lonjakan *vibration*. Oleh karena itu, *feeding rate* 98 mm/menit dapat dianggap parameter optimal karena memberikan keseimbangan terbaik antara *surface roughness* rendah dan *vibration* minimal.

KESIMPULAN

Berdasarkan temuan penelitian, pengujian proses milling pada material Aluminium 6061 menggunakan pahat HSS Ø12 mm menunjukkan bahwa peningkatan *feeding rate* dari 98 mm/menit, 132 mm/menit, hingga 170 mm/menit menyebabkan peningkatan *vibration* yang tercatat oleh sensor *accelerometer ADXL345*, masing-masing sebesar 0,85 mm/s, 0,87 mm/s, dan 0,92 mm/s. Meskipun terdapat peningkatan *vibration* akibat bertambahnya gaya potong, seluruh nilai masih berada di bawah batas aman 2,80 mm/s, sehingga proses milling tetap stabil.

Selain itu, pengujian *surface roughness* menggunakan *Surfcorder SE 800 Series* menunjukkan bahwa peningkatan *feeding rate* menghasilkan permukaan lebih kasar, dengan nilai rata-rata 1,04 µm pada 98 mm/menit (kategori N6/halus), 1,60 µm pada 132 mm/menit (kategori N7/normal), dan 2,19 µm pada 170 mm/menit (kategori N8/sedang) sesuai standar *face milling*. Hal ini menunjukkan bahwa *feeding rate* lebih tinggi berbanding lurus dengan peningkatan *surface roughness*.

Berdasarkan hasil tersebut, *feeding rate* 98 mm/menit direkomendasikan sebagai parameter optimal pada proses milling Aluminium 6061 menggunakan pahat HSS Ø12 mm, karena menghasilkan *vibration* dan *surface roughness* terendah serta menjaga stabilitas pemotongan dan kualitas permukaan benda kerja.

Pengembangan penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menambahkan variasi parameter lain, seperti kecepatan *spindle (spindle speed)*, kedalaman potong (*depth of cut*), dan jenis pahat berbeda (misalnya *carbide end mill* atau *coated tool*) untuk memperoleh model prediksi yang lebih komprehensif terhadap pengaruh parameter *machining*. Selain itu, penggunaan sistem pemantauan *vibration* secara *real-time* dengan sensor berbasis *Internet of Things (IoT)* atau *wireless accelerometer* juga direkomendasikan agar analisis kestabilan proses milling lebih efisien dan akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditiya, A. C., Irfa'I, M. A., Hadi, F. S., & Basuki. (2023). Pengaruh Spindle Speed Dan Feed Rate Terhadap Kekasaran Permukaan AL 6061. *Jurnal MOTION (Manufaktur, Otomasi, Otomotif, Dan Energi Terbarukan)*, 2(1), 18–25. <https://doi.org/10.33752/motion.v2i1.5347>
- Arjun, M. (2024). Analisis Getaran Mesin Bubut (Turning) Efek Perubahan Variabel Permesinan Pada Pembubutan Baja ST 41 Menggunakan Pahat Carbide [Universitas Hasanuddin]. <http://repository.unhas.ac.id:443/id/eprint/36534>
- Aulia, R., A, Y., Abadi, Z., & Sari, D. Y. (2022). Analisis Pengaruh Parameter Pemesinan, Metode Penyayatan Dan Material Pisau Frais Terhadap Kekasaran Permukaan Aluminium 6061 Pada Proses End Milling Surfaces Finish. *Jurnal Vokasi Mekanika (VoMek)*, 4(4), 70–81.

<https://doi.org/10.24036/vomek.v4i4.456>

- Hardinsi, F. A., Novareza, O., & Sonief, A. A. (2020). Pengaruh Geometri Pahat Variabel Helix Angle Pada Parameter Mesin Cnc Milling Vertikal Berbasis Mikrokontroler Terhadap Nilai Getaran Chatter. *JAMI: Jurnal Ahli Muda Indonesia*, 1(2), 62–71. <https://doi.org/10.46510/jami.v1i2.31>
- Hawa, A. P. (2019). Analisa Nilai Kekasaran Permukaan Pada Pemesinan Micro-Milling Ti6Al-4V ELI. Universitas Lampung.
- Jalmanto, K. E., A, Y., Helmi, N., Pinat, M. T., & Rezaldy, I. I. (2021). Analisis Kekasaran Permukaan Aluminium 6061 Akibat Variasi Feed Rate Pada Proses Finishing Mesin CNC Milling Menggunakan Fly Cutter. *Jurnal Vokasi Mekanika (VoMek)*, 3(4), 81–89. <https://doi.org/10.24036/vomek.v3i4.248>
- Lubis, S. (2024). Studi Eksperimental Dampak Dari Proses Pemotongan Pada Side Milling Dan Face Milling Terhadap Tingkat Kekerasan Pada Permukaan Logam. *SINERGI POLMED: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 5(1), 128–135. <https://doi.org/10.51510/sinergipolmed.v5i1.1549>
- Nugroho, W. I., Hartono, H., Priyoatmojo, S., An nizhami, A., & Yanuar, P. (2022). Perbandingan Kekasaran Permukaan yang dihasilkan Proses High Speed Milling antara arah pemakanan down-milling dan up-milling pada material aluminium 6061. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 17(3), 361. <https://doi.org/10.32497/jrm.v17i3.3945>
- Perdana, E. B., Winardi, Y., Fadelan, F., Munaji, M., & Ardika, R. D. (2024). Pengaruh Spindle Speed, Feeding Dan Cutting Tool Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Berkontur Pada CNC Milling. *AutoMech: Jurnal Teknik Mesin*, 4(2), 70–74. <https://doi.org/https://doi.org/10.24269/jtm.v4i02.7683>
- Ramdan, M. D. (2021). Optimasi Proses Machining Mesin CNC Milling Untuk Front Channel Dan Rear Channel Pada Alat Surface Condensor. *ALMIKANIKA*, 2(3), 95–105. <https://doi.org/10.32832/almikanika.v2i3.5483>
- Retyawan, O. N. (2015). Pengaruh Jenis Proses Pemotongan pada Mesin Milling terhadap Getaran dan Kekasaran Permukaan dengan Material Aluminium 6061. Universitas Sebelas Maret.
- Rochim, T. (2001). Spesifikasi, metrologi, dan kontrol kualitas geometrik. ITB Press.
- Romiyadi, R., & Azriadi, E. (2014). Pengaruh Kemiringan Spindel Dan Kecepatan Putaran Spindel Terhadap Getaran Mesin Frais Universal Knuth UFM 2. *Jurnal Teknobiologi: Jurnal Ilmiah Sains Terapan*, 5(1), 31–36. <https://doi.org/10.59061/jsit.v1i1.111>
- Setiawan, M., Lubis, M. S. Y., & Rosehan, R. (2022). Pengaruh Parameter Permesinan Milling terhadap Kekasaran Permukaan Material Stainless Steel 304 pada Bracket Caliper Sepeda Motor Menggunakan Metode Taguchi. *Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia*, 7(6), 8438–8448. <https://doi.org/https://doi.org/10.36418/syntax-literate.v7i6.8020>
- Syabbilla, M., Husman, H., & Erwansyah, E. (2024). Uji Metrologi Gerak Melingkar Pada Mesin CNC Milling Di Bengkel Mekanik Polmanbabel. *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, 2(2), 365–370. <https://doi.org/10.33504/jitt.v2i2.175>