

Analisis Pengaruh Variasi Kecepatan Pemakanan dan Kedalaman Pemotongan terhadap Getaran Mesin Bubut sesuai ISO 10816

Fiqqo Azis Bagasworo^{1*}, Khambali², Talifatim Machfuroh³

^{1,2,3}Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Malang

*Penulis Korespondensi, email: Fiqqoazis@gmail.com

Received: 01/10/2025

Revised: 06/11/2025

Accepted: 09/11/2025

Abstract. In the turning process, vibration is a problem that can reduce the quality of the results, such as increasing surface roughness and decreasing the dimensional accuracy of the workpiece. Excessive vibration can even shorten the life of the tool and machine components. This study aims to analyze the effect of variations in feed rate and depth of cut on lathe vibration and evaluate them based on the ISO 10816 standard. The feed variations used are 0,104, 0,325, 0,522, and 0,835 mm/rev, while the depth of cut variations are 0, 0,5, 1, and 1,5 mm. Vibration data is measured in the form of RMS vibration velocity, then analyzed using Minitab software, the results are in the form of ANOVA, main effect plot, and interaction plot. The results show that depth of cut is the dominant factor that affects vibration, while feed has a relatively smaller effect. In addition, the measurement results are directly compared with the ISO 10816 standard as a reference for evaluating machine vibration conditions.

Keywords: Lathe, Vibration, Feed rate, Depth of cut, ISO 10816

Abstrak. Dalam proses pembubutan, getaran dapat dan mampu memengaruhi kualitas hasil, seperti meningkatnya kekasaran permukaan dan menurunnya ketelitian dimensi benda kerja. Getaran yang berlebih juga dapat memperpendek umur pahat dan komponen mesin. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi kecepatan pemakanan (*feed*) dan kedalaman pemotongan (*depth of cut*) terhadap getaran mesin bubut serta mengevaluasinya berdasarkan standar ISO 10816. Variasi *feed* yang digunakan adalah 0,104, 0,325, 0,522, dan 0,835 mm/rev, sedangkan variasi *depth of cut* adalah 0, 0,5, 1, dan 1,5 mm. Data getaran diukur dalam bentuk kecepatan getaran RMS, yang kemudian dianalisis menggunakan software Minitab untuk menghasilkan ANOVA, main effect plot, dan interaction plot. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *depth of cut* menjadi faktor dominan yang memengaruhi getaran, sedangkan *feed* memberikan pengaruh yang lebih kecil. Selain itu, hasil pengukuran getaran dibandingkan langsung dengan standar ISO 10816 sebagai acuan evaluasi kondisi getaran mesin, guna menentukan apakah mesin dalam kondisi baik atau perlu dilakukan perbaikan.

Kata Kunci: Mesin bubut, Getaran, Kecepatan pemakanan, Kedalaman pemotongan, ISO 10816

I. PENDAHULUAN

Proses pembubutan merupakan salah satu metode pemesinan untuk memproses material yang paling banyak digunakan dalam industri manufaktur dengan tujuan menghasilkan komponen berbentuk silindris. Kualitas permukaan hasil pembubutan sangat dipengaruhi oleh kestabilan mesin dan pengaturan kombinasi parameter pemotongan seperti kecepatan putaran *spindle*, kedalaman pemotongan dan kecepatan pemakanan. Kombinasi parameter yang tidak tepat akan menyebabkan meningkatnya kekasaran permukaan akibat gaya pemotongan yang tidak stabil selama proses

pemesinan. Penelitian yang dilakukan pada baja AISI 1018 menggunakan pahat HSS menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan *spindle* tanpa adanya penyesuaian kedalaman pemotongan dan kecepatan pemakanan dapat menyebabkan tidak terturnya hasil permukaan, hal ini memperkuat pentingnya pengendalian kombinasi parameter pemotongan pada mesin bubut [1]. Variasi kecepatan pemakanan (*feed*) dan kedalaman pemotongan (*depth of cut*) berpengaruh secara langsung terhadap hasil kekasaran benda kerja, sehingga pemilihan kombinasi parameter pemotongan sangat penting untuk menjaga kualitas hasil pemesinan [2].

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu, menunjukkan bahwa variasi kecepatan putaran *spindle* dan kedalaman pemotongan berpengaruh langsung terhadap peningkatan getaran yang terjadi pada saat proses pembubutan rata baja ST42. Dalam studi yang dilakukan, semakin besar kedalaman pemotongan, maka semakin tinggi juga amplitudo getaran yang diukur pada pahat. Kondisi seperti ini bisa terjadi karena meningkatnya gaya potong yang diterima pahat bubut akibat bertambahnya luas penampang beram. Hal ini menandakan bahwa perubahan parameter pemotongan sangat sensitif terhadap peningkatan getaran [3]. Penelitian selanjutnya melaporkan bahwa kecepatan putar *spindle*, kedalaman pemotongan (*depth of cut*), dan kecepatan pemakanan (*feed*) juga berpengaruh terhadap timbulnya getaran radial pada mesin bubut CNC [4]. Memperkuat temuan pada penelitian sebelumnya melalui eksperimen yang dilakukan pada mesin frais, dimana variasi kecepatan pemakanan dan kedalaman pemotongan memengaruhi besaran getaran serta kekasaran permukaan secara langsung. Semakin tinggi nilai parameter tersebut, maka semakin besar getaran yang timbul, yang menyebabkan menurunnya kualitas permukaan hasil pemesinan [5]. Hubungan erat antara kombinasi parameter pemotongan dan getaran yang terbukti memiliki pengaruh nyata terhadap meningkatnya nilai getaran dan kualitas permukaan adalah kecepatan pemakanan (*feed*) dan kedalaman pemotongan (*depth of cut*) [6]. Hal yang sama juga ditunjukkan, dimana nilai RMS (*Root Mean Square*) meningkat seiring semakin besar kedalaman pemotongan dan kecepatan pemakanan [7]. Getaran pahat pada mesin bubut juga diketahui dapat mempengaruhi performa kerja mesin bubut, khususnya keausan pahat, kekasaran permukaan, dan umur pahat [8]. Di penelitian yang lain juga menunjukkan bahwa proses pembubutan dengan bantuan getaran ultrasonik (*ultrasonic vibration-assisted turning*) tetap memperlihatkan pola yang serupa dengan pembubutan konvensional. Dalam metode ini, pahat diberikan getaran ultrasonik untuk membantu proses pemotongan dengan tujuan meningkatkan kualitas hasil bubut. Namun demikian, hasil penelitian membuktikan bahwa

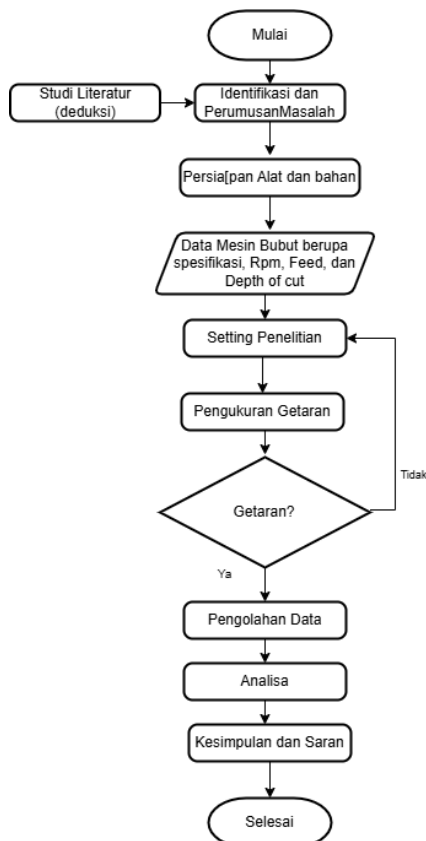
parameter pemotongan seperti *feed rate*, *depth of cut*, dan kecepatan *spindle* masih menjadi faktor yang sangat dominan dalam menentukan besarnya getaran yang terjadi selama proses pemesinan [9].

Dari berbagai penelitian tersebut, dapat memperlihatkan bahwa fokus utama masih pada hubungan antara parameter pemotongan, kondisi pahat dan kualitas permukaan, namun sebagian besar belum menganalisis keterkaitan antara kecepatan pemakanan dan kedalaman pemotongan terhadap getaran mesin bubut secara kuantitatif berdasarkan klasifikasi standar ISO 10816, sehingga penelitian ini menjadi penting untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai batas parameter pemotongan yang aman guna menjaga kestabilan kerja mesin, meminimalkan getaran, serta meningkatkan kualitas dan efisiensi proses pemesinan.

Berdasarkan penjelasan sebelumnya yang membahas keterkaitan antara parameter pemotongan dengan kualitas hasil pemesinan maupun getaran yang ditimbulkan, beberapa diantaranya juga berfokus pada pengaruh putaran *spindle*, laju pemakanan, dan kedalaman pemotongan terhadap kekasaran permukaan. Maka penelitian ini difokuskan untuk menganalisis pengaruh variasi parameter kecepatan pemakanan (*feed rate*) dan kedalaman pemotongan (*depth of cut*) terhadap getaran pada mesin bubut dengan pengukuran dua arah yaitu vertikal dan horizontal, juga interaksi antar kedua parameter tersebut, serta membandingkan hasil pengukuran dengan standar ISO 10816 sebagai acuan evaluasi kondisi getaran mesin.

II. METODOLOGI

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimental. Metode ini dipilih karena dapat mengevaluasi pengaruh lebih dari satu faktor sekaligus juga interaksi diantara faktor-faktor terhadap respon penelitian yaitu nilai getaran mesin bubut berupa RMS (*root mean square*) *velocity*. Pengertian dari *Velocity* atau kecepatan adalah laju perubahan perpindahan terhadap waktu dengan satuan mm/s,



Gambar 1. Diagram Alir

A. Alat dan bahan

1. Mesin Bubut

- Merek Mesin : *Dixon machinery*
- Model : *CQ6236x1000*
- Serial No. : *2200433*
- Voltage* : *380 V*
- Frekuensi : *50 Hz*
- Daya main motor listrik (KW) : *1,5 KW*
- Daya Motor Pompa Coolant : *40 W*
- Kecepatan *Spindle* : *70-2000 rpm*
- pondasi : *rigid*



Gambar 2. Mesin Bubut

2. Pahat HSS

- Merek : *BOHLER*
- Jenis : *HSS*
- Ukuran Pahat : *5/8" x 6 Inch*



Gambar 3. Pahat Bubut HSS

3. Kunci *chuck* dan kunci *tool post*



Gambar 4. Kunci *Chuck* dan Kunci *Tool Post*

4. Alat ukur getaran (*vibration meter*)



Gambar 5. *Vibration Meter*

5. Jangka sorong



Gambar 6. Jangka Sorong

6. Material kerja ST 37

- Material : *ST37*
- Diameter benda : *25,4 mm*
- Panjang benda : *100 mm*
- Cutting speed (Vc)* : *25-40M/menit*



Gambar 7. Material Kerja ST 37

B. Variabel penelitian

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang faktornya memengaruhi atau menjadi penyebab perubahan pada variabel lain dalam hal ini yaitu variabel terikat. Faktor pada variabel bebas diamati dan diukur untuk menentukan pengaruh yang disebabkan oleh variabel bebas. Variabel bebas penelitian ini yaitu variasi kecepatan pemakanan (0.104 mm/rev, 0.325 mm/rev, 0.522 mm/rev, dan 0.835 mm/rev) dan kedalaman pemotongan (0.5 mm, 1 mm, dan 1.5 mm).

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini adalah getaran pada mesin bubut.

3. Variabel terkendali

Variabel terkendali adalah variabel yang tetap konsisten tidak berubah dalam suatu penelitian untuk memastikan bahwa hasil yang diperolehnya dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terkendali pada penelitian ini adalah pahat bubut HSS, Material benda kerja ST 37, dan kecepatan spindle 300 rpm.

C. Pelaksanaan penelitian

1. Prosedur pembubutan

Prosedur atau langkah-langkah pengerjaan dalam proses pembubutan dapat dilakukan sebagai berikut:

- a. Mempersiapkan bahan/benda kerja dan peralatan untuk penelitian:
 - 1) Benda kerja ST 37 dengan diameter 25,4 mm dan panjang 100 mm.



Gambar 8. Pemasangan Benda Kerja

- 2) Mesin bubut konvensional.
- 3) Pahat bubut HSS (High Speed Steel).
- 4) Jangka sorong (*vernier calliper*) dengan ketelitian 0,05 mm.
- 5) Alat ukur getaran (*vibration meter*).
- b. Melakukan pengaturan mesin sebagai berikut:
 - 1) Menentukan kecepatan putaran *spindle*: Dengan *cutting speed* (V_c) yang digunakan adalah 25 mm/min. maka didapat putaran *spindle* dengan rumus:

$$RPM = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} \quad (1)$$

$$RPM = \frac{1000 \times 25}{\pi \times 25.4}$$

$$RPM = 313 \text{ putaran/menit}$$



Gambar 9. Tabel Pengatur Kecepatan Putaran Spindle

- 2) Sehingga berdasarkan “perhitungan 1” diatas, maka putaran *spindle* yang didapatkan sesuai dengan mesin bubut yang ada adalah 300 rpm.
- 3) Variasi Kecepatan pemakanan/*feed* (0,104 mm/rev, 0,325 mm/rev, 0,522 mm/rev, dan 0,835 mm/rev) sesuai dengan tabel kecepatan pemakanan pada mesin bubut pada “gambar 10”. Arah pembubutan memanjang otomatis.

a		60T				30T			
LEVER		T	S	R	U	T	S	R	U
A	D	1.302	1.300	1.044	835	696	650	522	418
		380	351	282	226	188	175	141	113
B	D	696	650	522	418	340	325	278	206
		188	175	141	113	094	088	062	056
A	C	094	088	070	056	047	041	035	028
		174	168	132	104	087	080	065	052
B	C	047	044	035	028	024	022	017	014

Gambar 10. Tabel kecepatan pemakanan (*feed*)

- 4) Variasi kedalaman pemotongan /*depth of cut* (0, 0.5 mm, 1 mm, dan 1.5 mm)

Tabel 1. Variasi Kombinasi Parameter Bubut

Specimen	<i>Feed (mm/rev)</i>	<i>Depth of cut (mm)</i>
A	0.104	0
A	0.104	0.5
A	0.104	1
A	0.104	1.5
B	0.325	0
B	0.325	0.5
B	0.325	1
B	0.325	1.5
C	0.522	0
C	0.522	0.5
C	0.522	1
C	0.522	1.5
D	0.835	0
D	0.835	0.5
D	0.835	1
D	0.835	1.5

c. Prosedur pengujian getaran

- 1) Proses Pengujian getaran dilakukan menggunakan alat ukur getaran (*vibration meter*), *vibration meter* merupakan alat untuk mengukur getaran, alat ini dipasang pada mesin yang menghasilkan getaran. Penggunaan *vibration meter* pada penelitian ini digunakan untuk mengukur gerakan bolak balik (RMS *velocity*) dengan satuan mm/s dari komponen mekanik mesin bubut sebagai reaksi dari adanya getaran yang dihasilkan oleh mesin tersebut.
- 2) Pengukuran getaran pada saat proses pembubutan dilakukan sebanyak 5 kali replikasi untuk meningkatkan reliabilitas data.

- 3) Arah pengukuran getaran dilakukan yaitu pada *spindle* vertikal dan *spindle* horizontal.



Gambar 11. Pengukuran Arah Vertikal



Gambar 12. Pengukuran Arah Horizontal

				Velocity
				11
				0.43
				7.1
				0.28
				4.5
				0.18
				3.5
				0.14
				2.8
0.11				
2.3				
0.09				
1.4				
0.06				
0.71				
mm/s rms	inch/s rms			
rigid	flexible	rigid	flexible	Foundation
medium size machines 15kW < P ≤ 300kW motors		large machines 300kW < P ≤ 50MW motors		Machine Type
160mm ≤ H < 315mm		315mm ≤ H		Group
Group 2		Group 1		

A New machine condition B Short-term operation allowable

C Unlimited long-term operation allowable D Vibration causes damage

Gambar 13. Tabel ISO 10816

(Sumber: <https://www.mobiusinstitute.com>)

- d. Parameter yang digunakan untuk menentukan jenis mesin:

- 1) Satuan : mm/s RMS (root mean square)

- 2) Rentang frekuensi :

10 -1000 Hz, $r > 600$ rpm)

2 - 100 Hz, $r > 120$ rpm

- 3) Dasar klasifikasi:

- a) Jenis mesin:

- (1) Kelompok 1: Mesin Besar (motor $300 \text{ kW} < P \leq 50 \text{ MW}$, $H \geq 315 \text{ mm}$)

- (2) Kelompok 2: Mesin menengah ($15 \text{ kW} < P \leq 300 \text{ kW}$, $160 \text{ mm} \leq H < 315 \text{ mm}$)

- (3) Pondasi (rigid (kaku)/fleksibel).

Tabel 2. Klasifikasi Zona ISO 10816

Zona klasifikasi ISO 10816	
Zona	Kondisi
1. Zona A (hijau)	- Kondisi mesin baru - Nilai kecepatan ≤ 1.4 mm/s RMS. - Getaran sangat baik, tidak ada masalah
2. Zona B (kuning)	- Operasi jangka panjang diperbolehkan - Rentang kecepatan 1.4-2.8 mm/s RMS. - Getaran masih dalam kondisi aman
3. Zona C (orange/belang orange putih)	- Hanya boleh pengoperasian jangka pendek - Rentang kecepatan 2.8-4.5 mm/s - Getaran signifikan, perlu dilakukan pengecekan dan perbaikan.
4. Zona D (merah)	- Getaran menyebabkan kerusakan - Rentang kecepatan > 4.5 mm/s - Pengoperasian mesin tidak aman, mesin harus berhenti.

- e. Hasil dari pengukuran getaran spindle berupa RMS *velocity*. Selanjutnya data getaran tersebut akan dibandingkan dengan ISO 10816 sebagai acuan untuk evaluasi kondisi getaran mesin.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran getaran mesin bubut pada saat proses pembubutan menggunakan *vibration meter* yang ditempatkan dibelakang *spindle* arah vertikal dan *spindle* arah horizontal, setiap kombinasi parameter kecepatan pemakanan (*feed*) dan kedalaman pemotongan (*depth of cut*) dilakukan sebanyak 5 kali replikasi. Data pengukuran getaran *spindle* arah vertikal dan *spindle* arah horizontal berupa nilai RMS *Velocity*, lalu dilakukan analisis dengan software minitab menggunakan metode DOE dan dibandingkan dengan ISO 10816.

Tabel 3. Data Getaran *Spindle* Arah Pengukuran Vertikal

Spesimen	Feed (mm/rev)	Depth of cut (mm)	RMS Velocity (mm/s)				
			1	2	3	4	5
A	0.104	0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
A	0.104	0.5	1.4	1.6	1.6	1.4	1.6
A	0.104	1	1	1.6	1.8	1.8	1.6
A	0.104	1.5	1.6	1.8	1.8	1.8	1.6
B	0.325	0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
B	0.325	0.5	0.6	0.8	1.2	1	0.8
B	0.325	1	0.8	1.4	1.6	1.4	1.6
B	0.325	1.5	0.8	1.6	1.8	1.8	1.6
C	0.522	0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
C	0.522	0.5	0.8	1	1	0.8	1
C	0.522	1	1	1.2	1	1	1.2
C	0.522	1.5	0.8	1.6	1.8	2.1	2.3
D	0.835	0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
D	0.835	0.5	0.8	1	1.2	1.4	1.4
D	0.835	1	1	1.6	1.6	1.4	1.4
D	0.835	1.5	1.2	1.8	2.3	1.9	2.5

Tabel 4. Data Getaran *Spindle* Arah Pengukuran Horizontal

Spesimen	Feed (mm/rev)	Depth of cut (mm)	RMS Velocity (mm/s)				
			1	2	3	4	5
A	0.104	0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
A	0.104	0.5	0.6	1.2	0.8	1.4	0.8
A	0.104	1	0.8	1	1	0.8	1.2
A	0.104	1.5	0.8	1.8	1.6	1.6	1.8
B	0.325	0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
B	0.325	0.5	0.8	1	0.8	0.8	1
B	0.325	1	0.8	1	1.6	1.2	1.4
B	0.325	1.5	1	1.8	1.4	1.8	1.2
C	0.522	0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
C	0.522	0.5	0.8	0.8	1	1	1.2
C	0.522	1	1	1.2	1.4	1.4	1.2
C	0.522	1.5	1	1.6	1.8	1.8	2.1
D	0.835	0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
D	0.835	0.5	0.8	1	1.2	1.2	1.4
D	0.835	1	1	1.6	1.4	1.4	1.2
D	0.835	1.5	1	1.2	1.8	1.8	2.3

A. Pengukuran spindle arah vertikal

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value
Model	15	27.0229	1.80152	80.29
Linear	6	24.8107	4.13512	184.30
Kecepatan Pemakanan (mm/rev)	3	0.9034	0.30113	13.42
Kedalaman Pemotongan (mm)	3	23.9074	7.96912	355.17
2-Way Interactions	9	2.2121	0.24579	10.95
Kecepatan Pemakanan (mm/rev)*Kedalaman Pemotongan (mm)	9	2.2121	0.24579	10.95
Error	64	1.4360	0.02244	
Total	79	28.4589		

Source	P-Value
Model	0.000
Linear	0.000
Kecepatan Pemakanan (mm/rev)	0.000
Kedalaman Pemotongan (mm)	0.000
2-Way Interactions	0.000
Kecepatan Pemakanan (mm/rev)*Kedalaman Pemotongan (mm)	0.000
Error	
Total	

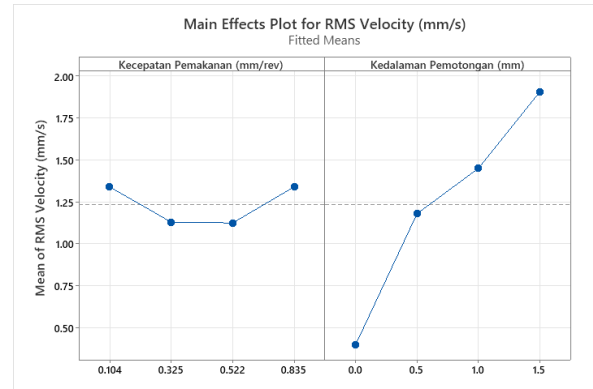
Gambar 14. Hasil Analisis ANOVA untuk RMS Velocity Pengukuran Spindle Arah Vertikal

Tujuan ANOVA dalam analisis ini adalah untuk mengetahui apakah faktor-faktor yang diteliti (kecepatan pemakanan dan kedalaman pemotongan) berpengaruh signifikan terhadap respon (getaran), serta bagaimana interaksinya.

Berdasarkan hasil analisis ANOVA pada pengukuran *spindle* arah vertikal, diketahui bahwa factor kedalaman pemotongan (*depth of cut*) memiliki nilai F paling tinggi (355,17) dengan *p-value* = 0,000, karena *p-value* < 0.05 maka dapat ditarik kesimpulan bahwa kedalaman pemotongan (*depth of cut*) berpengaruh signifikan terhadap getaran mesin bubut dan merupakan factor yang paling dominan. Faktor kecepatan pemakanan (*feed*) juga menunjukkan nilai F sebesar 13,42 dengan *p-value* = 0,000, karena *p-value* < 0.05 maka disimpulkan bahwa faktor ini berpengaruh nyata walaupun kontribusinya lebih kecil dibandingkan dengan kedalaman pemotongan. Selain itu, interaksi antara kedalaman pemotongan dan kecepatan pemakanan signifikan (F = 10,95; p = 0,000), yang mengindikasikan bahwa efek kecepatan pemakanan terhadap getaran bergantung pada tingkat kedalaman pemotongan. Dengan demikian, seluruh faktor utama maupun interaksi terbukti berpengaruh nyata terhadap variabel dependen (getaran), sesuai dengan kriteria pengujian bahwa *p-value* < 0,05 menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan.

Main Effects Plot menunjukkan bagaimana rata-rata respon dalam hal ini adalah RMS velocity (mm/s) berubah terhadap level faktor yang diuji

yaitu kecepatan pemakanan dan kedalaman pemotongan. Garis yang miring/menanjak/menurun menunjukkan faktor signifikan, sedangkan garis yang cenderung datar menandakan faktor tidak signifikan.



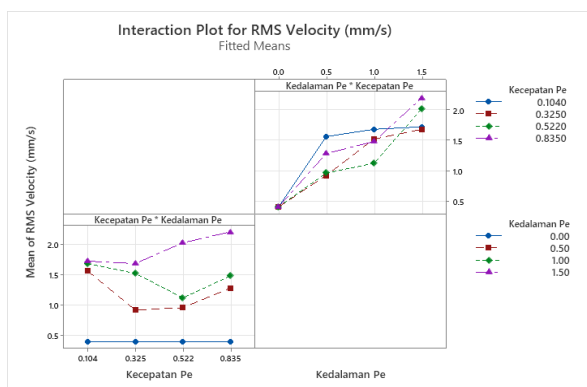
Gambar 15. Main Effects Plot untuk Feed dan Depth of Cut Pengukuran Spindle Arah Vertikal

Berdasarkan grafik *Main Effects Plot* Pengukuran *Spindle* arah vertikal, faktor kecepatan pemakanan (mm/rev) menunjukkan pola yang relatif datar dengan rentang perubahan respon yang sempit. Nilai RMS Velocity berada pada kisaran yang hampir sama di semua tingkat kecepatan pemakanan, Meskipun perubahan nilai tidak sebesar kedalaman pemotongan, perbedaan rata-rata antar level ini tetap menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan terhadap getaran.

Sebaliknya, faktor kedalaman pemotongan (mm) menunjukkan pola garis yang jelas mengalami peningkatan. Rentang perubahan yang lebar ini menunjukkan bahwa kedalaman pemotongan berpengaruh signifikan dan menjadi faktor yang paling dominan dalam meningkatkan getaran mesin bubut.

Hasil analisis ANOVA pada pengukuran *spindle* arah vertikal menunjukkan bahwa kedalaman pemotongan (*depth of cut*) menjadi faktor yang paling dominan terhadap peningkatan nilai getaran (RMS velocity). Temuan ini juga diperkuat oleh *main effect plot* yang memperlihatkan bahwa getaran meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman pemotongan. Kedalaman pemotongan berhubungan langsung dengan luas penampang

material yang dipotong oleh pahat. Gaya pemotongan akan meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman pemotongan, karena hal tersebut akan memperbesar luas penampang beram. Peningkatan luas penampang yang dipotong membuat gaya pemotongan yang dibutuhkan semakin besar, sehingga energi pemotongan yang diserap oleh mesin, pahat, dan benda kerja juga meningkat. Kondisi seperti ini memicu timbulnya getaran dengan amplitudo yang lebih tinggi [10].



Gambar 16. Interaction Plot antara Feed dan Depth of Cut Pengukuran Spindle Arah Vertikal

Analisis interaksi (*interaction plot*) bertujuan untuk mengetahui apakah pengaruh suatu factor (*feed & depth of cut*) terhadap respon (getaran/RMS *velocity*) bergantung pada tingkat factor lainnya. Jika tidak ada interaksi, maka efek factor akan sama di semua kondisi factor lain, yang ditunjukkan dengan garis pada *Interaction Plot* yang relatif sejajar dan tidak saling berpotongan. Sebaliknya, jika terdapat interaksi, maka efek salah satu factor berubah sesuai dengan level factor lain, sehingga garis pada *Interaction Plot* tampak saling berpotongan atau tidak sejajar. Dengan demikian, keberadaan interaksi dapat diidentifikasi dari pola garis dalam grafik, garis yang sejajar menandakan faktor bekerja independen, sedangkan garis yang berpotongan atau tidak sejajar menandakan adanya pengaruh bersama yang signifikan antar faktor terhadap respon.

Berdasarkan grafik *interaction plot spindle* arah vertical, terlihat adanya interaksi yang nyata antara kecepatan pemakanan (*feed*) dan kedalaman pemotongan (*depth of cut*). Pada saat belum ada pemotongan, perubahan kecepatan pemakanan

hampir tidak memengaruhi RMS *velocity* karena respon cenderung dibawah 0,5 mm/s. kemudian meningkat terus menerus seiring dengan peningkatan kedalaman pemotongan, kenaikan kecepatan pemakanan menyebabkan RMS *velocity* meningkat, sehingga pengaruh *feed* semakin jelas pada *depth of cut* yang lebih besar.

Sebaliknya, efek kedalaman pemotongan juga berbeda pada tiap level *feed*, pada *feed* rendah, kenaikan kedalaman pemotongan hanya sedikit meningkatkan RMS *velocity*, sedangkan pada *feed* yang lebih tinggi peningkatannya jauh lebih tajam. Hal ini menunjukkan bahwa kedua faktor saling memengaruhi, sehingga pengaruh salah satu faktor tidak dapat dipisahkan dari faktor lainnya. Dari pola yang ditunjukkan, dapat disimpulkan bahwa kedalaman pemotongan merupakan faktor yang paling dominan dalam meningkatkan getaran, sedangkan kecepatan pemakanan berperan sebagai faktor pendukung yang memperkuat efek kedalaman pemotongan ketika levelnya lebih tinggi.

B. Pengukuran spindle arah horizontal

Analysis of Variance

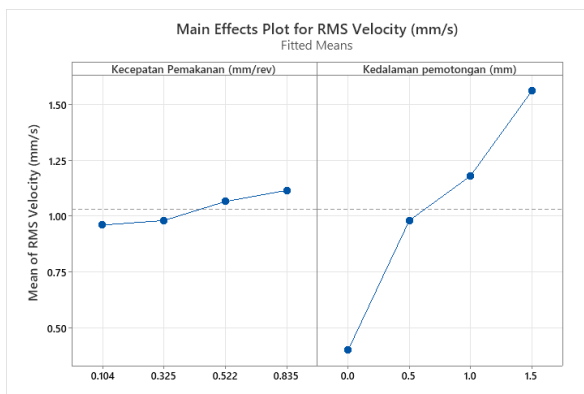
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value
Model	15	14.7160	0.98107	13.67
Linear	6	14.3730	2.39550	33.39
Kecepatan Pemakanan (mm/rev)	3	0.3170	0.10567	1.47
Kedalaman pemotongan (mm)	3	14.0560	4.68533	65.30
2-Way Interactions	9	0.3430	0.03811	0.53
Kecepatan Pemakanan (mm/rev)*Kedalaman pemotongan (mm)	9	0.3430	0.03811	0.53
Error	64	4.5920	0.07175	
Total	79	19.3080		

Source	P-Value
Model	0.000
Linear	0.000
Kecepatan Pemakanan (mm/rev)	0.230
Kedalaman pemotongan (mm)	0.000
2-Way Interactions	0.847
Kecepatan Pemakanan (mm/rev)*Kedalaman pemotongan (mm)	0.847
Error	
Total	

Gambar 17. Hasil Analisis ANOVA untuk RMS Velocity Pengukuran Spindle Arah Horizontal

Berdasarkan hasil analisis ANOVA pada pengukuran *spindle* arah horizontal, diketahui bahwa faktor kedalaman pemotongan (*depth of cut*) memiliki nilai F paling tinggi (65,30) dengan p-value = 0,000, karena p-value < 0,05 maka dapat ditarik kesimpulan bahwa kedalaman pemotongan (*depth of cut*) berpengaruh signifikan terhadap getaran mesin bubut dan merupakan faktor yang paling dominan. Faktor kecepatan pemakanan (*feed*) juga menunjukkan nilai F sebesar 1,47

dengan $p\text{-value} = 0,230$, karena $p\text{-value} > 0,05$ maka disimpulkan bahwa faktor ini tidak berpengaruh signifikan terhadap getaran mesin bubut. Selain itu, interaksi antara kedalaman pemotongan dan kecepatan pemakanan juga tidak signifikan ($F = 0,53$; $p = 0,847$), yang mengindikasikan bahwa efek kecepatan pemakanan terhadap getaran tidak dipengaruhi oleh tingkat kedalaman pemotongan. Dengan demikian, pada pengukuran *spindle* arah horizontal, hanya faktor kedalaman pemotongan yang terbukti berpengaruh nyata terhadap variabel dependen (getaran), sedangkan faktor kecepatan pemakanan maupun interaksinya tidak memberikan pengaruh yang signifikan.



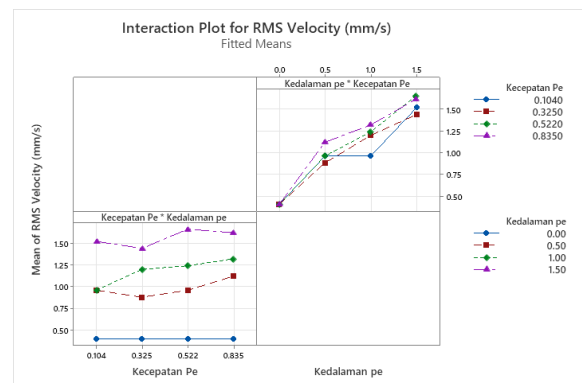
Gambar 18. Main Effects Plot untuk Feed dan Depth of Cut Pengukuran Spindle Arah Horizontal

Berdasarkan grafik *Main Effects Plot* Pengukuran *Spindle* arah horizontal, faktor kecepatan pemakanan (mm/rev) menunjukkan pola yang relatif datar dengan rentang perubahan respon yang sempit. Meskipun nilai perubahannya tidak sebesar kedalaman pemotongan, perbedaan rata-rata antar level ini tidak menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan terhadap getaran.

Sebaliknya, faktor kedalaman pemotongan (mm) menunjukkan pola garis yang jelas mengalami peningkatan. Rentang perubahan yang lebar ini menunjukkan bahwa kedalaman pemotongan berpengaruh signifikan dan menjadi faktor yang paling dominan dalam meningkatkan getaran mesin bubut.

Hasil analisis ANOVA pada pengukuran *spindle* arah vertikal menunjukkan bahwa kedalaman pemotongan (*depth of cut*) menjadi faktor yang

paling dominan terhadap peningkatan nilai getaran (RMS velocity). Temuan ini juga diperkuat oleh *main effect plot* yang memperlihatkan bahwa getaran meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman pemotongan. Kedalaman pemotongan berhubungan langsung dengan luas penampang material yang dipotong oleh pahat. Gaya pemotongan akan meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman pemotongan, karena hal tersebut akan memperbesar luas penampang beram. Peningkatan luas penampang yang dipotong membuat gaya pemotongan yang dibutuhkan semakin besar, sehingga energi pemotongan yang diserap oleh mesin, pahat, dan benda kerja juga meningkat. Kondisi seperti ini memicu timbulnya getaran dengan amplitudo yang lebih tinggi [10]



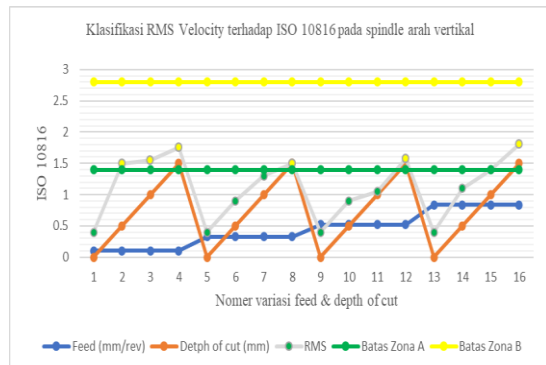
Gambar 19. Interaction Plot antara Feed dan Depth of Cut Pengukuran Spindle Arah Horizontal

Berdasarkan grafik *Interaction Plot spindle* arah horizontal, terlihat bahwa tidak terdapat interaksi nyata antara kecepatan pemakanan dan kedalaman pemotongan. Garis pada grafik cenderung sejajar dan tidak saling berpotongan, sehingga pengaruh *feed* terhadap RMS velocity relatif sama pada semua level *depth of cut*. Pada perubahan *feed* dari terendah hingga tertinggi, respon hanya sedikit bervariasi, sehingga kontribusinya terhadap getaran tidak signifikan.

Sebaliknya kedalaman pemotongan menunjukkan pengaruh yang jelas dengan pola garis menanjak, di mana pada *depth* 0 mm nilai RMS Velocity berada di bawah 0,5 mm/s, kemudian meningkat terus menerus seiring dengan peningkatan kedalaman pemotongan. Dari pola ini dapat disimpulkan bahwa kedalaman pemotongan

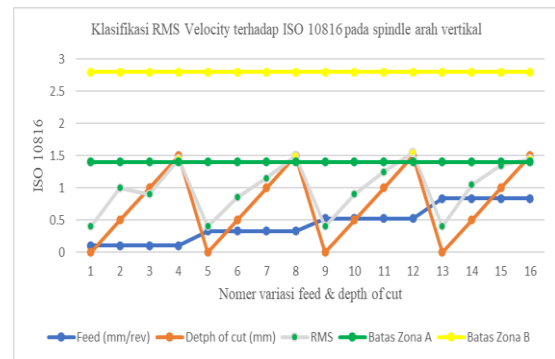
merupakan faktor yang paling dominan dalam meningkatkan getaran, sedangkan kecepatan pemakanan tidak berpengaruh signifikan dan tidak menunjukkan adanya interaksi dengan kedalaman pemotongan.

C. Hasil RMS velocity dibandingkan dengan ISO 10816



Gambar 20. Grafik RMS *Velocity Spindle* Arah Vertikal Terhadap ISO 10816

Berdasarkan hasil penelitian, nilai rata-rata RMS *Velocity* yang diperoleh dari pengukuran *spindle* arah vertikal berada pada rentang 0,4-1,8 mm/s. Jika dibandingkan dengan klasifikasi ISO 10816 untuk mesin bubut pada penelitian ini masuk dalam kelompok 2 mesin menengah dengan pondasi rigid, diketahui bahwa batas Zona A adalah 0 hingga 1,4 mm/s, sedangkan Zona B berada pada rentang 1,4-2,8 mm/s. Dengan acuan tersebut, sebagian besar hasil pengukuran yang termasuk dalam Zona A, yang menunjukkan kondisi getaran mesin masih sangat baik. Sementara itu, data dengan nilai RMS di atas batas maksimal zona A berada dalam Zona B, yang berarti getaran masih dapat diterima untuk operasi jangka panjang. Dari semua variasi parameter, tidak ada data yang melebihi batas maksimal zona B (2,8 mm/s), sehingga mesin tidak pernah masuk ke Zona C maupun Zona D, yang menandakan kondisi berbahaya.



Gambar 21. Grafik RMS *Velocity Spindle* Arah Horizontal terhadap ISO 10816

Berdasarkan hasil penelitian, nilai rata-rata RMS *Velocity* yang diperoleh dari pengukuran spindle arah horizontal berada pada rentang 0,4-1,5 mm/s. Jika dibandingkan dengan klasifikasi ISO 10816 untuk mesin bubut pada penelitian ini masuk dalam kelompok 2 mesin menengah dengan pondasi rigid, diketahui bahwa batas Zona A adalah 0 hingga 1,4 mm/s, sedangkan Zona B berada pada rentang 1,4-2,8 mm/s. Dengan acuan tersebut, sebagian besar hasil pengukuran termasuk dalam Zona A, yang menunjukkan kondisi getaran mesin masih sangat baik. Sementara itu, data dengan nilai RMS di atas batas maksimal zona A berada dalam Zona, yang berarti getaran masih dapat diterima untuk operasi jangka panjang. Dari semua variasi parameter, tidak ada data yang melebihi batas maksimal zona B (2,8 mm/s), sehingga mesin tidak pernah masuk ke Zona C maupun Zona D, yang menandakan kondisi berbahaya.

Dengan demikian, meskipun hasil ANOVA menunjukkan bahwa kedalaman pemotongan merupakan faktor yang paling dominan dalam meningkatkan getaran, disertai interaksi signifikan dengan kecepatan pemakanan pada *spindle* vertika dan horizontal, namun secara standar ISO 10816 mesin bubut tetap berada pada kondisi aman (Zona A-B). maka dapat disimpulkan bahwa variasi parameter pemotongan pada penelitian ini memang memengaruhi getaran secara statistik, tetapi secara praktis mesin masih dapat beroperasi normal tanpa adanya risiko kerusakan.

Hasil penelitian ini sesuai dengan beberapa penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa

kedalaman pemotongan menjadi faktor yang signifikan dalam peningkatan nilai getaran. Melalui eksperimen yang dilakukan pada mesin frais, dimana variasi kecepatan pemakanan dan kedalaman pemotongan memengaruhi besaran getaran serta kekasaran permukaan secara langsung. Semakin tinggi nilai parameter tersebut, maka semakin besar getaran yang timbul, yang menyebabkan menurunnya kualitas permukaan hasil pemesinan [5]. Hubungan yang erat antara parameter pemotongan dan getaran yaitu variasi *feed* dan *depth of cut* terbukti memiliki pengaruh yang nyata terhadap nilai getaran dan kualitas permukaan [6]. Hal yang sama juga terjadi dimana nilai RMS (*Root Mean Square*) meningkat seiring semakin besar kedalaman pemotongan dan kecepatan pemakanan [7]. Hasil penelitian lain membuktikan bahwa parameter pemotongan seperti *feed rate*, *depth of cut*, dan kecepatan *spindle* masih menjadi faktor yang sangat dominan dalam menentukan besarnya getaran yang terjadi selama proses pemesinan [9].

Hasil penelitian ini tidak hanya mencakup analisis ANOVA, *main effect plot*, dan *interaction plot* untuk menentukan faktor dominan getaran, tetapi juga nilai RMS *velocity* dibandingkan secara langsung dengan ambang batas getaran standar ISO 10816 sebagai acuan evaluasi kondisi getaran mesin. Pendekatan ini membawa sudut pandang baru yang membedakan penelitian ini dari penelitian sebelumnya, karena hasil analisis statistik tidak hanya berhenti pada hasil uji statistik untuk menentukan faktor yang berpengaruh, tetapi juga dikaitkan dengan kepatuhan terhadap standar industri yaitu ISO 10816. Hasil penelitian menjadi lebih bermanfaat, karena kombinasi parameter pemotongan dapat dinilai tidak hanya dari sisi pertimbangan ilmiah, tetapi juga dari kesesuaiannya dengan standar getaran.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dengan judul Analisis Pengaruh Variasi Kecepatan Pemakanan dan Kedalaman Pemotongan terhadap Getaran Mesin Bubut sesuai ISO 10816, maka disimpulkan:

Pengukuran arah vertikal dan interaksi, Hasil analisis ANOVA, *Main Effects*, dan *Interaction Plot* pada arah vertikal menunjukkan bahwa kedalaman pemotongan merupakan faktor paling dominan dalam meningkatkan RMS *Velocity*. Kedalaman pemotongan berhubungan langsung dengan luas penampang material yang dipotong oleh pahat. Gaya pemotongan akan meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman pemotongan. Sedangkan kecepatan pemakanan juga berpengaruh signifikan meskipun kontribusinya lebih kecil. Selain itu, terdapat interaksi nyata antara *feed* dan *depth of cut*, ditunjukkan dengan garis pada *Interaction Plot* yang tidak sejajar dan saling berpotongan, sehingga pengaruh salah satu faktor bergantung pada level faktor lainnya.

Pengukuran arah horizontal dan interaksi, Pada arah horizontal, hasil ANOVA dan grafik menunjukkan bahwa kedalaman pemotongan tetap menjadi faktor dominan. Kedalaman pemotongan berhubungan langsung dengan luas penampang material yang dipotong oleh pahat. Gaya pemotongan akan meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman pemotongan. Sedangkan kecepatan pemakanan tidak memberikan pengaruh yang signifikan. *Interaction Plot* menampilkan garis yang sejajar, yang berarti tidak terdapat interaksi nyata antara *feed* dan *depth of cut*, kedua faktor bekerja secara mandiri.

Hasil penelitian ini dibandingkan dengan standar ISO 10816 kelompok 2 mesin dengan pondasi kaku (*rigid*), hasil pengukuran RMS *Velocity* berada pada rentang 0,4-1,8 mm/s. Nilai tersebut sebagian masuk Zona A yang menandakan kondisi getaran sangat baik, dan sisanya masuk Zona B yang masih dapat diterima untuk pengoperasian jangka panjang. Tidak ada hasil yang melebihi batas maksimal zona B, sehingga mesin tidak pernah masuk ke Zona C maupun D. Meskipun demikian, walaupun secara statistik faktor pemotongan berpengaruh signifikan, secara standar kondisi internasional getaran mesin bubut pada penelitian ini masih dalam kategori aman untuk beroperasi.

Berdasarkan hasil penelitian, disarankan agar proses pembubutan dilakukan dengan pengaturan

parameter pemotongan yang lebih konservatif, khususnya pada kedalaman pemotongan dan kecepatan pemakan untuk mengetahui kestabilan getaran dalam batas aman sesuai standar ISO 10816. Pemantauan getaran secara berkala menggunakan *vibration meter* perlu diterapkan untuk memastikan pola getaran tetap berada pada Zona A-B, serta dilakukan pemeriksaan rutin terhadap kondisi pahat dan kekakuan sistem penjepitan guna meminimalkan getaran arah vertikal yang lebih dominan. Penelitian lanjutan direkomendasikan untuk menambahkan variabel seperti kecepatan potong, kondisi pendinginan, dan jenis pahat guna memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif terhadap perilaku dinamis mesin bubut dan optimasi parameter pemotongan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada teman-teman Jurusan Mesin Politeknik Negeri Malang yang telah memberikan dukungan dan fasilitas selama pelaksanaan penelitian, serta kepada dosen pembimbing atas seluruh arahan dan bimbingan yang sangat berarti. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada semua pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam penyusunan artikel ini.

REFERENSI

- [1] G. A. Situmeang dan B. Suhendra, "Analisis Variasi Kecepatan Spindel Dan Pemakanan Proses Bubut Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Kerja Pada Baja AISI 1018 Menggunakan Pahat HSS," *J. Ilm. Wahana Pendidik.*, vol. 9, no. 8, Art. no. 8, Apr 2023, doi: 10.5281/zenodo.7885216.
- [2] R. Aufar, A. Ariefin, A. Ariefin, dan M. Murtadhahadi, "Analisa Variasi Kecepatan Makan Dan Ketebalan Makan Terhadap Kekasaran Permukaan Material Baja St-41 Pada Proses Bubut," *J. Mesin Sains Terap.*, vol. 8, no. 2, hlm. 123, Sep 2024, doi: 10.30811/jmst.v8i2.5762.
- [3] A. Rukma, A. R. Rasyid, dan A. M. Irfan, "Analisis Getaran Mesin Bubut Emco Maximat V13 akibat Variasi Putaran Mesin dan Kedalaman Pemakanan Pada Proses Bubut Rata Baja ST 42," *Tek. Mesin Teknol.*, vol. 22, no. 1 APR, Art. no. 1 APR, Jul 2021.
- [4] M. W. R. B. Panuntun, F. X. E. Arianto, dan J. B. P. Manurung, "PENGARUH KECEPATAN PUTAR, KEDALAMAN PEMOTONGAN DAN LAJU PEMAKANAN TERHADAP GETARAN ARAH RADIAL PADA MESIN BUBUT CNC," *J. Inkofar*, vol. 6, no. 1, Art. no. 1, Jul 2022, doi: 10.46846/jurnalinkofar.v6i1.212.
- [5] M. F. Hidayat dan F. Ahmad, "PENGARUH KEDALAMAN PEMAKANAN DAN FEEDRATE PADA MESIN FRAIS TERHADAP HASIL GETARAN DAN KEKASARAN PERMUKAAN," *J. Tek. Mesin*, 2025.
- [6] A. Rosandi, W. Sumbodo, H. Yudiono, dan K. Kriswanto, "Analisis Variasi Kecepatan Potong Dan Kedalaman Potong Terhadap Nilai Kekasaran Permukaan Dan Getaran Pada Pembubutan Silindris Material Baja ST 60," *J. Inov. Mesin*, vol. 3, no. 1, hlm. 1–12, Apr 2021, doi: 10.15294/jim.v3i1.46597.
- [7] M. Fachrul, "ANALISIS PENGARUH KEDALAMAN PEMAKANAN PROSES PEMBUBUTAN RATA TERHADAP GETARAN YANG DITIMBULKAN," 2024.
- [8] N. Ambhore dan D. Kamble, "EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF TOOL WEAR AND INDUCED VIBRATION IN TURNING HIGH HARDNESS AISI52100 STEEL USING CUTTING PARAMETERS AND TOOL ACCELERATION," *Facta Univ. Ser. Mech. Eng.*, hlm. 623, Des 2020, doi: 10.22190/fume200116018a.
- [9] G. S. Ghule dkk., "Investigation of conventional and ultrasonic vibration-assisted turning of hardened steel using a coated carbide tool," *Front. Mech. Eng.*, vol. 10, Apr 2024, doi: 10.3389/fmech.2024.1391315.
- [10] A. Susanto, "Hubungan Parameter Pemesinan terhadap Gaya Potong, Temperatur, dan Power pada Proses Bubut Inconel 718," *ROTASI*, vol. 24, no. 3, hlm. 43–49, Jul 2022.