

Pengaruh *Cross Feed* dan Ukuran *Grit Silicon Carbide Wheel Grinder* Terhadap Respon Getaran dan Kekasaran Permukaan Untuk Material Baja (*Hardened Tool Steel*) OCR12VM

Fachrizar Cesar Putra¹, Yuliadi Erdani^{2*}, Bahdin Ahad Badia³, La Ode Abdul Gamsir⁴

^{1,3,4}Teknologi Metalurgi Industri Logam, Politeknik Tridaya Virtu Morosi, Indonesia

²Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Politeknik Manufaktur Bandung, Indonesia
email: *yul_erdani@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan mengetahui besar pengaruh *crossfeed* dan ukuran *grit* baru gerinda *silicon carbide* terhadap amplitudo getaran dengan nilai kekasaran permukaan yang terjadi saat proses permesinan. Material pengujian menggunakan *hardened tool steel OCR12VM*. Pengujian dilakukan menggunakan mesin *surface grinding KGS818AH* dengan variabel proses ukuran *grit* batu gerinda, putaran *spindel*, kecepatan makan, kedalaman potong serta *cross feed*. Pemilihan jenis *abrasive* dan parameter proses (*crossfeed* dan ukuran *grit* batu gerinda) dapat memberikan dampak pada meningkatnya amplitudo getaran dan kekasaran permukaan. Hasil dari penelitian ini adalah semakin halus *grit* batu gerinda maka amplitudo getaran dan kekasaran permukaan yang didapat akan lebih rendah dan semakin besar *crossfeed* maka amplitudo getaran dan kekasaran permukaan akan meningkat.

Kata Kunci—Ukuran *grit* gerinda, Respon getaran, Kekasaran permukaan, JMES, Mekanik, Eksperimen

Abstarct

This research aims to determine how much influence the *crossfeed* and *grit* size of new *silicon carbide* grinders have on the vibration amplitude and surface roughness values that occur during the machining process. The test material uses *hardened tool steel OCR12VM*. Tests were carried out using a *KGS818AH* surface grinding machine with process variables of grinding stone *grit* size, spindle rotation, feed speed, depth of cut and *cross feed*. The choice of *abrasive* type and process parameters (*crossfeed* and grinding stone *grit* size) can have an impact on increasing vibration amplitude and surface roughness. The results of this research are that the finer the *grit* of the grinding stone, the lower the vibration amplitude and surface roughness obtained and the greater the *crossfeed*, the vibration amplitude and surface roughness will increase.

Keywords —Grinding *grit* size, Vibration response, Surface roughness, JMES, Mechanical, Experiment

1. PENDAHULUAN

Proses penggerindaan (*grinding*) merupakan salah satu operasi akhir yang penting dalam industri manufaktur logam. Proses ini bertujuan untuk menghasilkan komponen atau produk dengan kualitas permukaan dan dimensi yang presisi sesuai dengan spesifikasi

yang diinginkan. Dalam proses penggerindaan, terdapat berbagai faktor yang dapat mempengaruhi kualitas hasil akhir, seperti jenis roda gerinda, kecepatan putar, kedalaman penggerindaan (*depth of cut*), dan laju pengumpanan (*feed rate*) [1], [2].

Salah satu parameter penting dalam proses penggerindaan adalah laju pengumpanan (*feed rate*), yang terdiri dari dua komponen utama, yaitu *cross feed* dan *down feed*. *Cross feed* merupakan gerakan relatif lateral antara benda kerja dan roda gerinda, sedangkan *down feed* adalah gerakan relatif vertikal antara benda kerja dan roda gerinda [3]. Pengaturan *cross feed* yang tepat dapat memberikan pengaruh signifikan terhadap kualitas permukaan hasil penggerindaan, seperti kekasaran permukaan dan respon getaran selama proses berlangsung.

Selain *cross feed*, faktor lain yang juga berpengaruh terhadap kualitas hasil penggerindaan adalah ukuran grit (butiran) pada roda gerinda. Roda gerinda yang umum digunakan dalam industri logam adalah roda gerinda *silicon carbide* (SiC) [4]. Ukuran grit pada roda gerinda SiC dapat bervariasi, mulai dari ukuran halus hingga kasar. Pemilihan ukuran grit yang tepat sangat penting untuk mendapatkan kualitas permukaan yang optimal dan meminimalkan respon getaran selama proses penggerindaan. Kualitas permukaan hasil penggerindaan sangat penting dalam aplikasi industri, terutama untuk komponen yang beroperasi dalam kondisi beban tinggi dan gesekan, seperti cetakan, dies, dan peralatan potong. Kekasaran permukaan yang rendah dapat meningkatkan umur pakai komponen tersebut dan mengurangi gesekan serta keausan [7]. Selain itu, respon getaran selama proses penggerindaan juga menjadi perhatian karena dapat mempengaruhi kualitas permukaan dan akurasi dimensi produk akhir [8].

Respon getaran yang berlebihan selama penggerindaan dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti kondisi roda gerinda, parameter pemotongan, dan ketidakseimbangan sistem [9]. Getaran yang tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada permukaan benda kerja, keausan roda gerinda yang lebih cepat, dan berkurangnya akurasi dimensi produk [10]. Oleh karena itu, penting untuk mengoptimalkan parameter penggerindaan agar respon getaran dapat diminimalkan.

Penelitian sebelumnya telah mengkaji pengaruh parameter penggerindaan terhadap kualitas permukaan dan respon getaran pada berbagai jenis material. Namun, sebagian besar penelitian tersebut berfokus pada baja karbon dan baja paduan umum, seperti AISI D2 [11], [12]. Sementara itu, penelitian mengenai pengaruh parameter penggerindaan pada baja khusus seperti OCR12VM masih terbatas.

Baja OCR12VM merupakan jenis baja paduan yang dirancang untuk aplikasi dengan kebutuhan kekerasan dan ketahanan aus yang tinggi, seperti cetakan, dies, dan peralatan potong [13]. Sifat mekanik yang unggul ini dicapai melalui proses perlakuan panas khusus yang menghasilkan struktur martensit. Namun, kekerasan yang tinggi juga menyebabkan baja OCR12VM sulit untuk diproses dengan metode konvensional, seperti pembubutan atau pengeboran [14].

Selain baja OCR12VM, penelitian terkait parameter penggerindaan juga telah dilakukan pada berbagai jenis baja lainnya, seperti baja perkakas (*tool steel*) AISI D2 [15], [16] dan baja karbon tinggi [17]. Meskipun memiliki komposisi kimia yang berbeda, penelitian tersebut dapat memberikan wawasan tentang pengaruh parameter penggerindaan terhadap kualitas permukaan dan respon getaran pada material baja keras secara umum.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji pengaruh *cross feed* dan ukuran grit pada roda gerinda terhadap kualitas permukaan dan getaran selama proses penggerindaan. Dhar et al. [18] menemukan bahwa peningkatan *cross feed* dapat meningkatkan kekasaran permukaan dan amplitudo getaran pada penggerindaan baja perkakas AISI D2. Sementara itu, penelitian oleh Tso dan Lin [19] menunjukkan bahwa penggunaan roda gerinda dengan ukuran grit yang lebih halus dapat menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih rendah pada penggerindaan baja paduan.

Beberapa penelitian terkait penggerindaan baja telah dilakukan di Indonesia, namun sebagian besar berfokus pada jenis baja lain seperti baja karbon dan baja paduan umum. Misalnya, penelitian oleh Zulfikar et al. [20] mengkaji pengaruh kedalaman potong dan kecepatan putaran roda gerinda terhadap kekasaran permukaan pada penggerindaan baja AISI 4140. Sementara itu, Ilham et al. [21] meneliti pengaruh variasi kecepatan putar roda gerinda dan kedalaman potong pada kekasaran permukaan baja AISI 4340.

Namun, penelitian yang secara khusus mengkaji pengaruh *cross feed* dan ukuran grit pada penggerindaan baja OCR12VM masih terbatas di Indonesia. Padahal, informasi tersebut sangat penting bagi industri manufaktur di Indonesia yang menggunakan baja jenis ini, seperti industri cetakan, dies, dan peralatan potong.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi kekosongan informasi tersebut dengan menganalisis pengaruh kombinasi *cross feed* dan ukuran grit *silicon carbide wheel grinder* terhadap respon getaran dan kekasaran permukaan pada proses penggerindaan baja keras OCR12VM. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi industri manufaktur di Indonesia, khususnya dalam pemilihan parameter penggerindaan yang optimal untuk menghasilkan kualitas permukaan yang baik dan meminimalkan respon getaran selama proses penggerindaan baja OCR12VM.

Dalam penelitian ini, fokus utama adalah menganalisis pengaruh *cross feed* dan ukuran *grit silicon carbide wheel grinder* terhadap respon getaran dan kekasaran permukaan pada proses penggerindaan material baja keras (*hardened tool steel*) OCR12VM. Baja OCR12VM merupakan jenis baja paduan yang sering digunakan dalam aplikasi seperti cetakan, dies, dan peralatan potong karena memiliki sifat kekerasan dan ketahanan aus yang tinggi [5], [6]. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kombinasi parameter *cross feed* dan ukuran *grit* yang optimal untuk menghasilkan kualitas permukaan yang baik dan meminimalkan respon getaran selama proses penggerindaan baja OCR12VM

2. METODE PENELITIAN

1. Bahan Penelitian

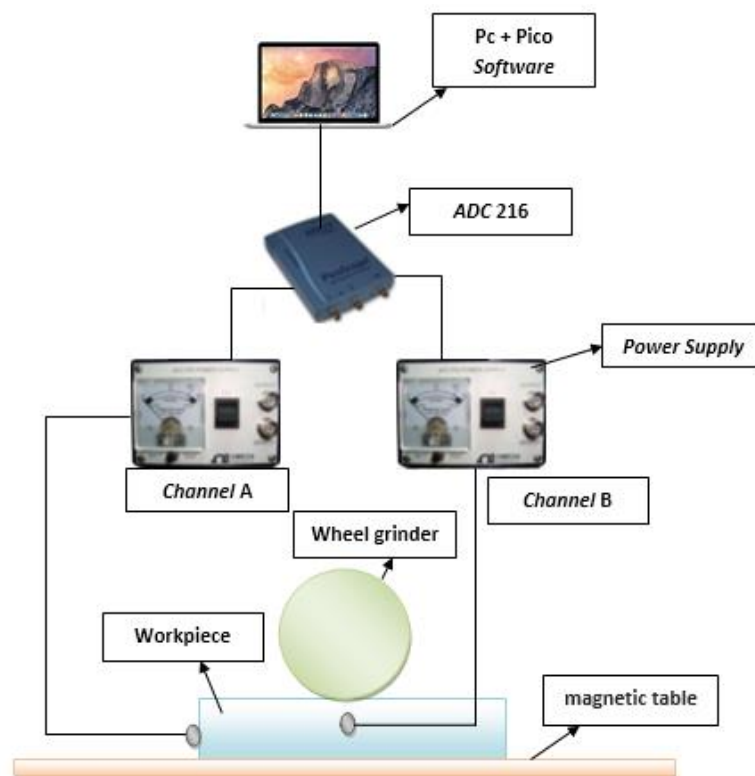
Pada penelitian ini menggunakan baja perkakas yang telah di keraskan OCR12VM 58 HRC dengan dimensi panjang 300 mm ; tebal 20 mm ; dan lebar 60 mm, seperti pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Baja Perkakas (*Hardened tool steel*) OCR12VM

2. Alat yang digunakan

- a. Getaran diukur menggunakan software PicoScope yang dimana getaran akibat pemakanan ditangkap oleh sensor *accelerometer*, getaran yang terjadi akan disalurkan menuju ADC melalui *constant current power supply*, sinyal analog akan diubah menjadi digital dan diteruskan ke komputer sebagai *spectrum analyser*, dan data yang diterima komputer siap diolah dengan perangkat lunak *math engineering* dengan luaran nilai amplitudo getaran. Rangkaian pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Skema uji respon getaran

- b. Kekasaran permukaan diukur menggunakan surfstest yang dimana seperti pada Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Alat Uji Kekerasan Permukaan

3. Rancangan Percobaan

Pada penelitian ini menggunakan mesin gerinda datar model KGS818AH yang dimana memiliki kecepatan putar konstan 3000 rpm, dengan dimensi meja kerja 200 x 500 (mm), serta ukuran batu gerinda 205 x 25 x 32/31,75 (mm). Penelitian ini menggunakan variabel proses yang dimana pada variabel proses terdapat 4 variasi grit size batu gerinda yaitu GC60LV; GC80LV; GC100LV; dan GC120LV, 2 variasi kedalaman potong 0,005; dan 0,01 (mm), serta 5 variasi cross feed 5; 8; 11; 13; dan 15 (mm/langkah), serta pada penelitian ini menggunakan variabel konstan yaitu kecepatan makan 12 mm/s.

4. Pemodelan Regresi

Pemodelan regresi ini digunakan sebagai metode pendekatan untuk menganalisis hubungan antara variabel proses dengan variabel respon. Dalam analisis regresi sederhana, hubungan antara variabel bersifat linier, dimana perubahan pada variabel X akan diikuti oleh perubahan pada variabel Y secara tetap. Dalam memilih model yang paling sesuai, biasanya diperiksa apakah model antar variabel adalah model linier atau model polinomial. Secara umum, pengukuran amplitudo getaran dapat dianalisis dengan persamaan matematika berikut:

$$y = C_0 G^{c_1} Q^{c_2} D^{c_3} \varepsilon' \quad (1)$$

Dari persamaan (1) dilinearisasi dengan melakukan transformasi logaritma yang dimana y adalah amplitudo getaran RMS (g), C_0 adalah konstanta, G adalah grit size batu gerinda, Q adalah cross feed, D adalah depth of cut dan ε' adalah experimental error, dan untuk c_1 , c_2 dan c_3 adalah parameter model yang diperkirakan dari data eksperimen dapat dilihat dibawah ini:

$$\ln y = \ln C_0 + c_1 \ln G + c_2 \ln Q + c_3 \ln D + \ln \varepsilon' \quad (2)$$

Atau dapat dituliskan sebagai berikut :

$$y = c_0 x_0 + c_1 x_1 + c_2 x_2 + c_3 x_3 \varepsilon \quad (3)$$

Untuk pemodelan surface roughness persamaan regresi dapat dituliskan sebagai berikut :

$$R_a = R_0 G^{c_3} Q^{c_4} D^{c_5} \varepsilon' \quad (4)$$

Persamaan (4) dilinearisasi dengan melakukan transformasi logaritma sebagai berikut :

$$\ln R_a = \ln R_0 + c_3 \ln G + c_4 \ln Q + c_5 \ln D + \ln \varepsilon_r' \quad (5)$$

Atau dapat dituliskan sebagai berikut :

$$R_a = b_0 z_0 + b_1 z_1 + b_2 z_2 + b_3 z_3 \varepsilon_r' \quad (6)$$

Dimana z_0 adalah nilai kualitatif yang bernilai 1 dan z_1, z_2 dan z_3 nilai kondisi pemotongan dari $G, Q,$ and D ε_r' adalah experimental error ε_r' , and b_0, b_1, b_2 dan b_3 adalah parameter model yang diperkirakan dari data eksperimen.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data penelitian pada Tabel 1 yang ditunjukkan di bawah ini memiliki hubungan antara *crossfeed* terhadap amplitudo getaran pada sumbu x dan sumbu z pada setiap ukuran grit size batu gerinda dan pada kedalaman potongan yang ditabulasikan dalam bentuk grafik dibawah ini dan dapat dibuat hubungan antara cross feed, ukuran grit batu gerinda, amplitudo getaran, dan kekasaran permukaan dengan model regresi yang di sajikan dalam Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 1. Hasil pengukuran getaran pada saat proses penggilingan

Controlled variable		Responds variable					
		Depth of cut 5 μm			Depth of cut 10 μm		
Grit size	Cross Feed	Vibration level x-axis RMS (g)	Vibration level z-axis RMS (g)	Surface roughness (μm)	Vibration level x-axis RMS (g)	Vibration level z-axis RMS (g)	Surface roughness (μm)
60	5	0,032	0,035	0.52	0,051	0,045	0.58
	8	0,055	0,042	0.56	0,081	0,07	0.61
	11	0,071	0,060	0.62	0,110	0,097	0.64
	13	0,088	0,067	0.63	0,152	0,11	0.66
	15	0,093	0,076	0.69	0,161	0,145	0.72
80	5	0,027	0,030	0,41	0,045	0,042	0,47
	8	0,045	0,041	0,44	0,071	0,058	0,52
	11	0,061	0,052	0,49	0,094	0,076	0,55
	13	0,074	0,059	0,53	0,115	0,092	0,58
	15	0,082	0,066	0,55	0,140	0,115	0,62
100	5	0,023	0,025	0,31	0,036	0,038	0,39
	8	0,036	0,037	0,34	0,061	0,051	0,43
	11	0,050	0,047	0,39	0,082	0,065	0,48
	13	0,058	0,051	0,43	0,094	0,076	0,50
	15	0,066	0,058	0,46	0,110	0,090	0,54
120	5	0,015	0,018	0,25	0,030	0,034	0,30
	8	0,028	0,033	0,28	0,050	0,043	0,36
	11	0,042	0,041	0,33	0,063	0,056	0,39
	13	0,047	0,044	0,35	0,072	0,064	0,43
	15	0,053	0,050	0,37	0,082	0,072	0,47

Tabel 2. Hasil pemodelan regresi pengukuran getaran dan kekasaran permukaan

Controlled variable	Responds variable
---------------------	-------------------

Grit size	Cross Feed	Depth of cut 5 μm			Depth of cut 10 μm		
		Vibration level x-axis RMS (g)	Vibration level z-axis RMS (g)	Surface roughness (μm)	Vibration level x-axis RMS (g)	Vibration level z-axis RMS (g)	Surface roughness (μm)
60	5	0,037	0,034	0,50	0,070	0,050	0,57
	8	0,057	0,049	0,55	0,090	0,074	0,61
	11	0,077	0,063	0,59	0,110	0,092	0,66
	13	0,091	0,073	0,62	0,130	0,102	0,68
	15	0,104	0,083	0,65	0,148	0,135	0,71
80	5	0,023	0,025	0,41	0,056	0,050	0,48
	8	0,043	0,039	0,46	0,076	0,065	0,52
	11	0,063	0,054	0,50	0,097	0,080	0,57
	13	0,077	0,064	0,53	0,110	0,089	0,60
	15	0,090	0,073	0,56	0,132	0,099	0,62
100	5	0,009	0,015	0,32	0,042	0,041	0,39
	8	0,029	0,030	0,37	0,063	0,055	0,43
	11	0,049	0,044	0,41	0,083	0,070	0,48
	13	0,063	0,054	0,44	0,096	0,080	0,51
	15	0,076	0,064	0,47	0,110	0,090	0,53
120	5	0,008	0,010	0,23	0,029	0,031	0,30
	8	0,017	0,020	0,28	0,049	0,046	0,34
	11	0,036	0,035	0,32	0,069	0,060	0,39
	13	0,049	0,045	0,35	0,082	0,070	0,42
	15	0,062	0,054	0,38	0,096	0,080	0,44

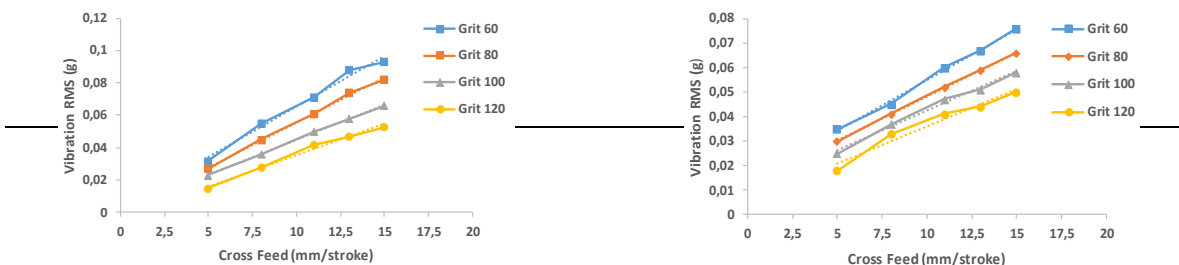
Pemodelan regression equation dibawah ini diambil dari regresi persamaan (3) dan (6) yang telah diolah memakai software dan menghasilkan persamaan regresi pemodelan untuk setiap respon dapat dilihat seperti dibawah ini :

$$\text{Vibration - x axis} = 0,0117 - 0,000694 G + 0,006712 Q + 0,006660 D \quad (7)$$

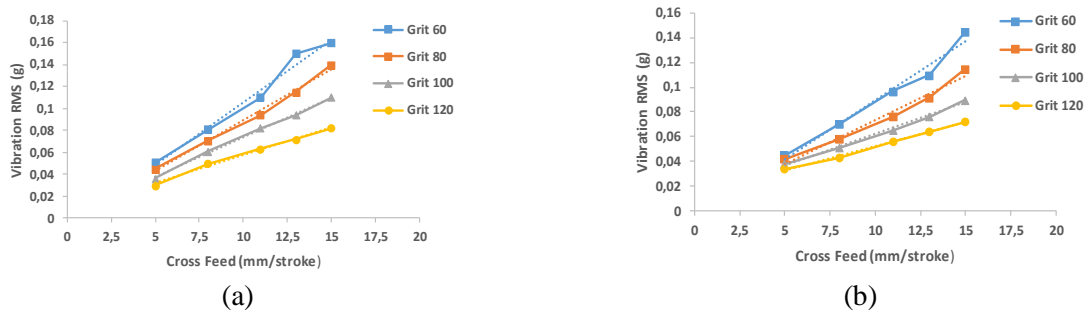
$$\text{Vibration - z axis} = 0,01266 - 0,000477 G + 0,004891 Q + 0,005120 D \quad (8)$$

$$\text{Surface Roughness} = 0,6350 - 0,004495 G + 0,014664 Q + 0,012900 D \quad (9)$$

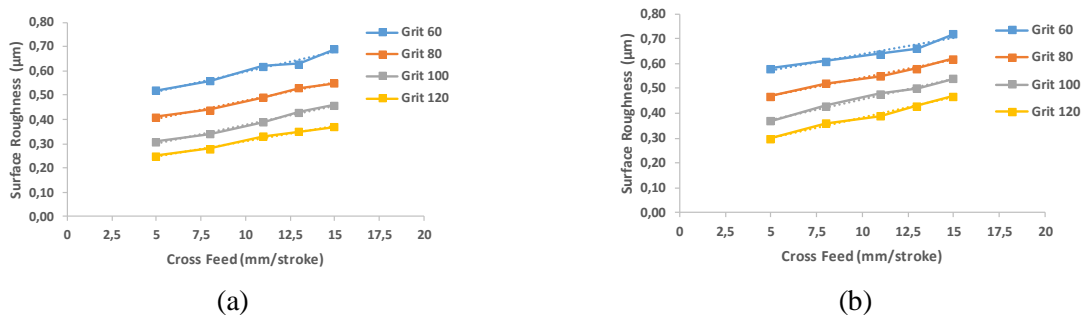
Berdasarkan data penelitian pada Tabel 1 dan di tabulasikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar. 4, 5 dan 6 yang dimana seiring meningkatnya cross feed maka amplitudo getaran dan kekasaran permukaan akan meningkat, begitu pula dengan semakin besar kedalaman potongnya maka amplitudo getaran dan kekasaran permukaan akan meningkat. Pada kedalaman potong kecil beban yang di terima oleh benda kerja yang terjadi kecil, sehingga getaran yang ditimbulkan juga kecil, sebaliknya pada kedalaman potong yang besar beban yang diterima oleh benda kerja juga besar dikarenakan tebal permukaan yang terpotong besar sehingga diperlukan gaya yang besar untuk memotong benda kerja dan menimbulkan getaran yang besar pula.



Gambar 4. Cross feed vs vibration level in x-axis and z-axis (a) DOC 5 μm dan (b) DOC 5 μm

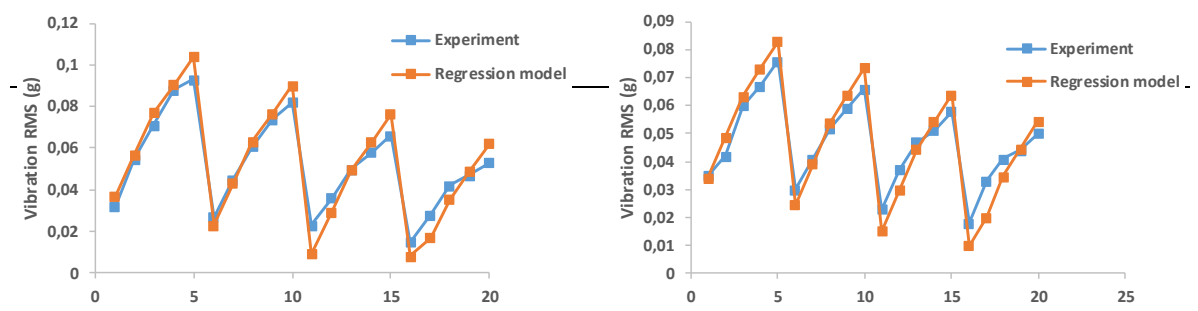


Gambar 5. Cross feed vs vibration level in x-axis and z-axis (a) DOC 10 μm dan (b) DOC 10 μm



Gambar 6. Cross feed vs surface roughness (a) DOC 5 μm dan (b) DOC 10 μm

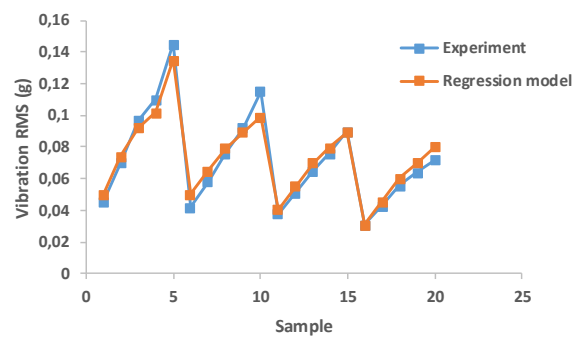
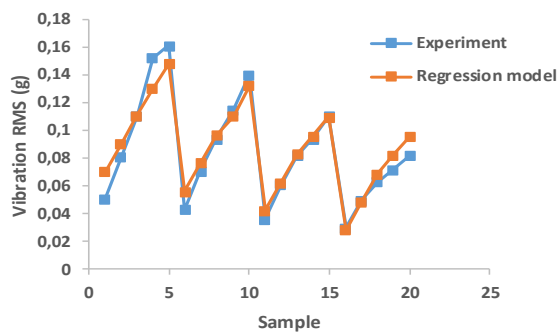
Berdasarkan data penelitian pada Tabel 1 dan data regresi pada Tabel 2 di tabulasikan dalam bentuk grafik dapat Pada Gambar 7, 8 dan 9 dimana dapat dilihat untuk pemodelan regresi menggunakan data pengukuran getaran sebanyak 20 sampel pada tiap kedalaman potong dimana pada grafik dibawah ini membentuk pola yang sama dari percobaan maupun model regresi. Dengan demikian, asumsi yang dihasilkan dari model regresi untuk amplitudo memiliki prediksi yang baik.



(a)

(b)

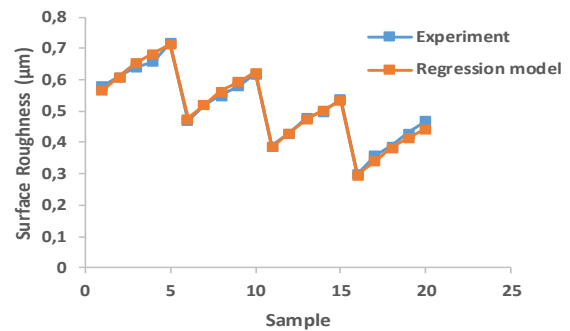
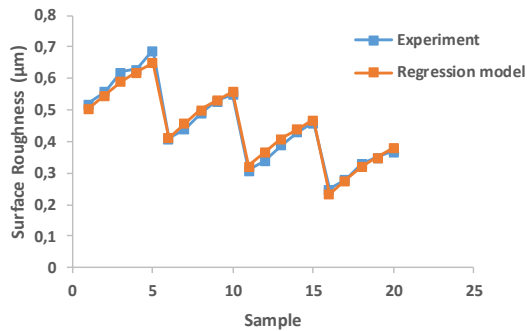
Gambar 7. The experimental and the regression model of x-axis and z-axis vibration RMS (a) DOC 5 μm and (b) DOC 5 μm



(a)

(b)

Gambar 8. The experimental and the regression model of x-axis and z-axis vibration RMS (a) DOC 10 μm and (b) DOC 10 μm

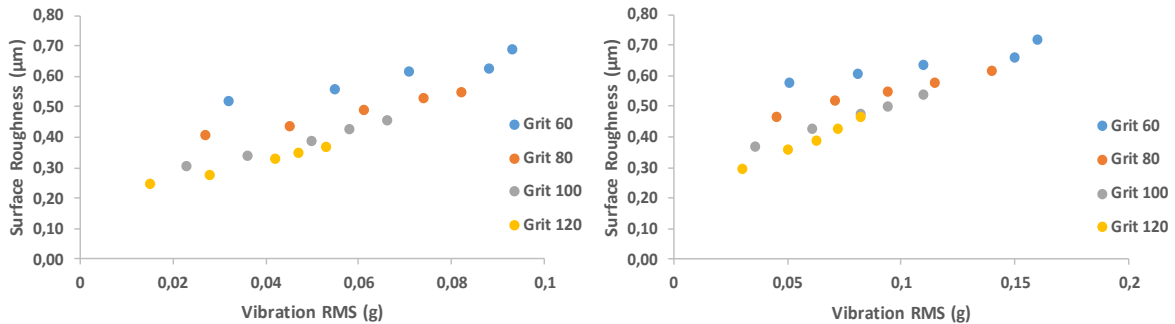


(a)

(b)

Gambar 9. Comparison between experimental surface roughness and regression models (a) DOC 5 μm dan (b) DOC 10 μm

Pada Gambar. 10 dimana dapat dilihat bahwa besar getaran dan nilai kekasaran permukaan memiliki korelasi antara amplitudo getaran dan kekasaran permukaan yang dimana seiring meningkatnya amplitudo getaran maka kekasaran permukaan akan meningkat, hal ini disebabkan oleh meningkatnya *crossfeed* maka gaya potong dan kontak antara roda gerinda dan benda kerja semakin besar yang membuat amplitudo getaran meningkat sehingga kekasaran permukaan juga meningkat. ‘



Gambar 10. Correlation between vibration level and surface roughness (a) DOC 5 µm and (b) DOC 10 µm

Pernyataan pada Gambar 10 diatas didukung oleh Analisis varians (Anava) dengan melihat nilai dari R-square. Selain itu, untuk mengetahui variabel proses yang memiliki pengaruh yang signifikan pada respon, dilakukan analisis varians analysis yang dimana dalam percobaan ini tingkat kepercayaan (α) sebesar 5%. Jika P-value lebih kecil dari (α) menunjukkan bahwa variabel proses memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon. Berdasarkan Tabel 3, 4 dan 5 di bawah ini dapat dilihat untuk variabel proses memiliki nilai P-value = 0,000 < α = 0,05 sehingga ada pengaruh yang signifikan dari variabel proses pada respon amplitudo getaran dan kekasaran permukaan pada kedalaman potong 5 dan 10 µm.

Tabel 3. Factor Information

Faktor	Type	Levels	Values
Grit Size	Fixed	3	60; 80 ; 100; and 120
Cross Feed	Fixed	5	5; 8; 11; 13; and 15
Depth Of Cut	Fixed	2	5 ; and 10

Tabel 4. Analysis variance (ANAVA process variable to vibration level x-axis RMS)

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Grit Size	3	0,009638	0,003213	22,55	0,000
Cross Feed	4	0,022815	0,005704	40,04	0,000
Depth Of Cut	1	0,011089	0,011089	77,85	0,000
Error	31	0,004416	0,000142		
Total	39	0,047958			
R-sq			90,79 %		

Tabel 5. Analysis variance (ANAVA process variable to vibration level z-axis RMS)

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Grit Size	3	0,004578	0,001526	14,27	0,000
Cross Feed	4	0,012174	0,003043	28,46	0,000
Depth Of Cut	1	0,006554	0,006554	61,29	0,000
Error	31	0,003315	0,000107		
Total	39	0,026620			
R-sq			87,55 %		

Tabel 6. Analysis variance (ANAVA process variable to surface roughness)

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Grit Size	3	0,406827	0,135609	803,42	0,000

Cross Feed	4	0,109235	0,027309	161,79	0,000
Depth Of Cut	1	0,041602	0,041602	245,47	0,000
Error	31	0,005233	0,000169		
Total	39	0,562897			
R-sq			99,07 %		

4. KESIMPULAN

Kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Meningkatnya *crossfeed* maka amplitudo getaran dan kekasaran permukaan akan meningkat, berbanding lurus dengan korelasi antara amplitudo getaran dan kekasaran permukaan seiring meningkatnya amplitudo getaran maka kekasaran permukaan akan meningkat.
2. Pengaruh pemilihan grit batu gerinda yang dimana semakin halus grit batu gerinda maka getaran yang di hasilkan akan semakin kecil yang dimana kekasaran permukaan juga akan semakin kecil pada setiap kedalaman potong.
3. Model regresi yang dihasilkan memiliki pola yang sama dengan hasil eksperimen, hal ini menunjukkan bahwa *crossfeed*, ukuran grit batu gerinda dan kedalaman potong mempengaruhi tingkat getaran dan kekasaran permukaan material benda kerja pada proses pemesinan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Krishnaiah and Ch. Shamasundar, "A study on grinding of hardened aisi d2 steel using cbn grinding wheels," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 79, no. 9–12, pp. 1905–1919, 2015, doi: 10.1007/s00170-015-6960-3.
- [2] J. Rech, Y. Kermouche, P. Gilles, D. Delagnes, and M. Mousseaux, "Wear behavior of CBN grinding wheels: A tribological approach at the grain-scale," *Wear*, vol. 376–377, pp. 777–790, 2017, doi: 10.1016/j.wear.2017.01.010.
- [3] X. Chen and W. B. Rowe, "Analysis and simulation of the grinding process. Part IV: Ground surface and discussion," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 36, no. 8, pp. 897–906, 1996, doi: 10.1016/0890-6955(95)00095-X.
- [4] R. S. Pawade, P. K. Brahmaner, and S. S. Bobde, "An investigation of surface integrity of hardened AISI D2 steel produced by grinding under different cooling conditions," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 196, no. 1–3, pp. 153–160, 2008, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2007.05.012.
- [5] M. N. Morgan, A. R. Jackson, A. Gupillor, and A. D. Batako, "Inclined Grinding of Hardened AISI D2 Tool Steel," *Procedia CIRP*, vol. 77, pp. 274–277, 2018, doi: 10.1016/j.procir.2018.08.301.
- [6] M. N. Morgan, A. R. Jackson, A. Gupillor, and A. D. Batako, "Inclined Grinding of Hardened AISI D2 Tool Steel," *Procedia CIRP*, vol. 77, pp. 274–277, 2018, doi: 10.1016/j.procir.2018.08.301.
- [7] K. Gupta and N. K. Jain, "Surface Roughness in Grinding: A Review," *Mater. Manuf. Process.*, vol. 29, no. 5, pp. 526–538, 2014, doi: 10.1080/10426914.2014.892628.
- [8] M. A. Wani, R. Sanchez, R. Wager, and S. Ismail, "Vibration monitoring for process control in grinding of hardened steel," *CIRP Ann.*, vol. 67, no. 1, pp. 353–356, 2018, doi: 10.1016/j.cirp.2018.04.012.
- [9] A. Marinescu, I. Marinescu, and D. Marinescu, "Vibrations in Grinding," *Processes*, vol. 8, no. 11, p. 1444, 2020, doi: 10.3390/pr8111444.

-
- [10] J. Wang and C. Guo, "Investigation of Grinding Vibration and Surface Creation by Singularity Theory Analysis," *Micromachines*, vol. 12, no. 2, p. 143, 2021, doi: 10.3390/mi12020143.
- [11] P. Krajnik, J. Kozak, and H. Nohálová, "Influence of Grinding Parameters on Ground Surface Roughness and Its Evaluation," *Key Eng. Mater.*, vol. 496, pp. 268–273, 2012, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.496.268.
- [12] M. V. Vipindas and S. G. Bharathi Raja, "Optimization of grinding parameters for minimum surface roughness in grinding of hardened EN24 steel using RSM and ANOVA," *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 6, pp. 14301–14310, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2018.03.054.
- [13] J. G. Oliveira, A. R. Rocha, and R. B. Guerra, "Numerical Simulation of the Hardened AISI D2 Tool Steel Grinding Process," *Procedia CIRP*, vol. 77, pp. 258–261, 2018, doi: 10.1016/j.procir.2018.08.203.
- [14] A. M. Hassan, J. Trapped, A. Al-Zkari, and T. Mabrouki, "Cutting Temperature and Surface Roughness Prediction Model for Efficient Machining of Hardened D2 Tool Steel," *J. Eng. Sci. Technol. Rev.*, vol. 11, no. 3, pp. 93–101, 2018, doi: 10.25103/jestr.113.12.
- [15] H. Z. Li, K. Liu, X. P. Li, C. H. Zheng, Y. W. Lv, and J. Zhang, "Effects of grinding parameters on surface roughness and ground surface waviness in grinding of AISI D2 tool steel," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 98, no. 5–8, pp. 1857–1866, 2018, doi: 10.1007/s00170-018-2328-0.
- [16] G. S. Lam, R. Liu, and H. Zhang, "Vibration Analysis of Grinding Process Using an Innovative Parameter Design," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 3, p. 948, 2021, doi: 10.3390/app11030948.
- [17] K. Venkatachalam and E. S. Zor, "Effect of Grinding Parameters on Surface Roughness and Vibration Characteristics in Grinding of High-Carbon Steel," *Adv. Mater. Res.*, vol. 1042, pp. 191–196, 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1042.191.
- [18] N. R. Dhar, M. W. Islam, S. Islam, and M. A. H. Mithu, "The influence of minimum quantity of lubrication (MQL) on cutting temperature, chip and dimensional accuracy in turning AISI-1020 steel," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 171, no. 1, pp. 93–99, 2006, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2005.06.047.
- [19] P. L. Tso and J. D. Lin, "Surface roughness and burr in metal grinding," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 28, no. 3, pp. 279–291, 1988, doi: 10.1016/0890-6955(88)90067-X.
- [20] Zulfikar, A., Taufiq, A., & Arianto, F. (2018). Pengaruh Kedalaman Potong Dan Kecepatan Putaran Roda Gerinda Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Proses Cylindrical Grinding Baja AISI 4140. *Jurnal Teknologi*, 10(1), 1-6. <http://dx.doi.org/10.24853/jurtek.10.1.1-6>
- [21] Ilham, M., Muhayat, N., & Ropianto, M. (2017). Pengaruh Variasi Kecepatan Putar Roda Gerinda dan Kedalaman Potong Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Proses Cylindrical Grinding Baja AISI 4340. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(2), 93-98. <http://dx.doi.org/10.22441/jtm.v6i2.1311>
-