

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Pada bab ini dilakukan pengumpulan data hasil penelitian pengaruh variasi *depth of cut* pada proses *slot milling* dengan menggunakan rasio *L/D* untuk *chatter control* terhadap kekasaran permukaan Aluminium Alloy 6061 dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut

Setelah melakukan penelitian pengaruh variasi *depth of cut* pada proses *down milling* dengan menggunakan rasio *L/D* sebagai *chatter control*, benda kerja hasil proses *down milling* tersebut dilakukan pengujian kekasaran permukaan dengan menggunakan *Surface Roughness Tester*. Masing-masing permukaan hasil proses *down milling* diambil 4 sampel nilai kekasaran permukaan. Hal itu dapat digunakan untuk menjawab permasalahan pada bab sebelumnya serta dapat digunakan untuk memberi gambaran dan analisis secara terstruktur. Data kekasaran permukaan dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut :

Tabel 4.1 Data Hasil Penelitian

No.	Depth of cut (mm)	Rasio L/D = 3		Rasio L/D = 4		Rasio L/D = 5		Rasio L/D = 6	
		Ra (μm)	Rata-rata Ra (μm)	Ra (μm)	Rata-rata Ra (μm)	Ra (μm)	Rata-rata Ra (μm)	Ra (μm)	Rata-rata Ra (μm)
1	3	0,203	0,225	0,459	0,488	0,556	0,615	0,959	1,004
2		0,227		0,465		0,595		0,981	
3		0,228		0,512		0,610		1,019	
4		0,243		0,518		0,701		1,058	
5	3,5	0,254	0,429	0,566	0,632	0,759	0,840	1,218	1,458
6		0,449		0,578		0,772		1,472	
7		0,483		0,633		0,819		1,492	
8		0,53		0,751		1,013		1,650	
9	4	0,574	0,773	0,861	0,883	1,016	1,314	1,631	1,815
10		0,686		0,867		1,055		1,850	
11		0,875		0,885		1,592		1,862	
12		0,960		0,920		1,596		1,918	

4.2 Analisis Regresi

Pada analisis regresi yang digunakan untuk mengetahui bagaimana pengaruh dari variabel bebas terhadap variabel terikat dengan menggunakan Perhitungan metode numerik

regresi yang digunakan untuk mendapatkan persamaan regresi hubungan kecepatan pemakanan sebagai variabel bebas dengan kekasaran permukaan sebagai variabel terikat.

Kekasaran permukaan (R_a) memiliki faktor fungsi dengan kecepatan pemotongan (v), kedalaman pemotongan (a), dan kecepatan pemakanan (f) yang dapat dituliskan $R_a = a(v, f, a)$. Dari hubungan antara R_a dan parameter utama (v, f, a) dapat dituliskan menjadi (Lulzim Bala, 2012):

$$R_a = C \cdot v^{p_1} \cdot f^{p_2} \cdot a^{p_3} \dots\dots\dots (4-1)$$

dengan:

R_a : *surface roughness*

C : konstanta

v : kecepatan pemotongan

f : kecepatan pemakanan

a : kedalaman pemotongan

Pada penelitian ini kecepatan potongan (v) dan kecepatan pemakanan (f) konstan, maka untuk regresi yang hanya memakai satu variabel bebas yaitu kedalaman pemakanan (a), maka nilai kekasaran permukaan (R_a) dapat dinyatakan:

$$R_a = (C \cdot v^{p_1} \cdot a^{p_3}) \cdot f^{p_2} \dots\dots\dots (4-2)$$

dengan:

$(C \cdot v^{p_1} \cdot a^{p_3})$: C (konstanta)

Jadi variabel terkontrol yang berupa kecepatan pemotongan (v), kecepatan pemakanan (f) dan konstanta (c) bernilai konstan, kemudian menjadi satu konstanta berupa C , maka persamaan menjadi:

$$R_a = C \cdot f^p \dots\dots\dots (4-3)$$

Dari grafik hubungan rasio L/D dan *feed rate* terhadap kekasaran permukaan (R_a) sisi *down milling* pada proses *slot milling* didapatkan persamaan langsung dari Microsoft Excel berupa $Y = 0.002a^{4.2874}$ jadi dari persamaan (4-3) disimpulkan menjadi $R_a = 0.002a^{4.2874}$ maka nilai kekasaran permukaan (R_a) akan mengalami penambahan sebesar $0.002a^{4.2874} \mu\text{m}$.

Dengan perhitungan yang sama seperti perhitungan regresi linier $L/D = 3$, didapatkan hasil hubungan R_a (kekasaran permukaan) dengan a (kedalaman pemakanan) yaitu, rasio $L/D = 4$ adalah $R_a = 0.0503a^{2.0515}$, pada rasio $L/D = 5$ adalah $R_a = 0.0335a^{2.6233}$, pada rasio $L/D = 6$ $R_a = 0.1054a^{2.0674}$

Besarnya hubungan antara variabel bebas terhadap variabel terikat dapat dilihat dari nilai koefisien korelasi. Besarnya koefisien korelasi berkisar Antara -1 sampai dengan +1.

Jika koefisien korelasi (R) bernilai positif maka kedua variabel memiliki hubungan searah. Sedangkan jika koefisien korelasi bernilai negatif, maka hubungan kedua variabel berbanding terbalik. Pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat dapat dilihat dari nilai koefisien determinasi (R^2). Koefisien determinasi antara variabel bebas dan terikat dapat dihitung setelah menghitung nilai koefisien korelasi, dimana nilai koefisien korelasi dikuadratkan untuk mendapatkan nilai dari koefisien determinasi.

$$R = \frac{(n)(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{(n(\sum X^2) - (\sum X)^2)(n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2)}} \dots\dots\dots (4-4)$$

dengan:

R : Koefisien Korelasi

$\sum X^2$: Jumlah Kuadrat dari Variabel Bebas

$\sum Y^2$: Jumlah Kuadrat dari Variabel Terikat

$\sum XY$: Jumlah dari Perkalian Variabel Bebas Dan Terikat

Dari rumus diatas akan didapatkan koefisien korelasi (R) dan koefisien determinasi (R^2) dari kedalaman pemakanan terhadap nilai kekasaran permukaan pada proses *down milling* pada rasio $L/D = 3$ yaitu:

$$R = 1$$

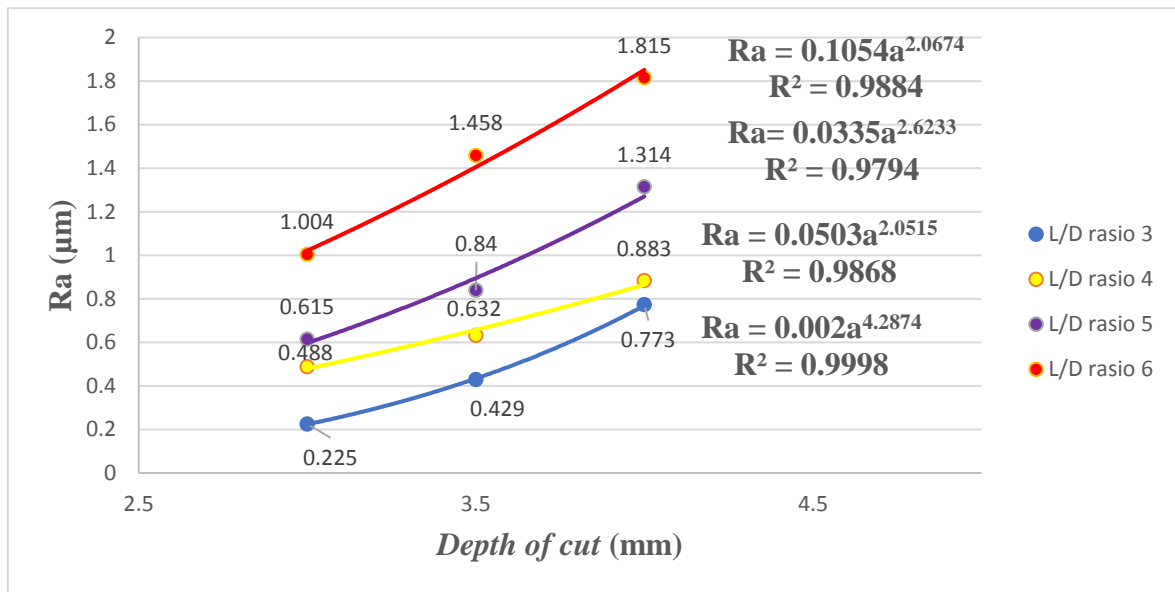
$$R^2 = 0.9993$$

Dari rumus diatas juga akan didapatkan koefisien korelasi (R) dan koefisien determinasi (R^2) dari kecepatan pemakanan terhadap nilai kekasaran permukaan pada proses *down milling* dengan rasio $L/D = 3$ memiliki korelasi positif maka kedua variabel memiliki hubungan searah.

4.3 Grafik dan Pembahasan

4.3.1 Hubungan *depth of cut* dengan L/D rasio Terhadap Kekasaran Permukaan

Gambar 4.1 menjelaskan hubungan variabel bebas *depth of cut*, *down milling* terhadap variabel terikat kekasaran permukaan (R_a) pada proses *down milling* dengan menggunakan rasio $L/D = 3, 4, 5, 6$ dan kedalaman pemotongan. Sumbu x menunjukkan *depth of cut* dan sumbu y menunjukkan kekasaran permukaan (R_a). Untuk titik-titik dan garis berwarna biru adalah grafik hasil *down milling* menggunakan rasio $L/D = 3$ sedangkan yang berwarna kuning adalah grafik hasil *down milling* menggunakan rasio $L/D = 4$ ungu menunjukkan grafik rasio $L/D = 5$ dan grafik berwarna merah menunjukkan rasio $L/D = 6$.



Gambar 4.1 Grafik hubungan *depth of cut* dan L/D rasio terhadap kekasaran permukaan

Gambar 4.1 menjelaskan hubungan variabel bebas *depth of cut*, *down milling* terhadap variabel terikat kekasaran permukaan (Ra) pada proses *down milling* dengan menggunakan rasio $L/D = 3, 4, 5, 6$ dan kedalaman pemotongan. Sumbu x menunjukkan *depth of cut* dan sumbu y menunjukkan kekasaran permukaan (Ra). Untuk titik-titik dan garis berwarna biru adalah grafik hasil *down milling* menggunakan rasio $L/D = 3$ sedangkan yang berwarna kuning adalah grafik hasil *down milling* menggunakan rasio $L/D = 4$ ungu menunjukkan grafik rasio $L/D = 5$ dan grafik berwarna merah menunjukkan rasio $L/D = 6$.

Grafik 4.1 diatas menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai *depth of cut* yang digunakan pada proses *down milling*, membuat nilai kekasaran permukaan benda kerja yang dihasilkan akan semakin meningkat. Pada grafik 4.1 juga memperlihatkan bahwa semakin kecil nilai rasio L/D yang digunakan, maka nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan akan semakin menurun. Nilai kekasaran permukaan terbesar didapatkan pada kedalaman 4 mm dengan menggunakan rasio $L/D = 6$, dimana pada kedalaman 4 mm dengan menggunakan rasio $L/D = 6$ nilai rata-rata Ra adalah 1,815 μm sedangkan pada kedalaman 3 mm dengan menggunakan rasio $L/D = 6$ nilai rata-rata Ra terbesar adalah 1,004 μm . Untuk nilai kekasaran permukaan paling rendah pada kedalaman 3 mm dengan menggunakan rasio $L/D = 3$ adalah 0,225 μm , sedangkan pada kedalaman 4 mm dengan rasio $L/D = 3$ adalah 0,773 μm . Penurunan nilai kekasaran permukaan ini disebabkan dengan nilai rasio $L/D = 3$ yang akan berpengaruh pada kekakuan *tool* ketika proses pemakanan benda kerja. Turunnya nilai *depth of cut* juga mempengaruhi nilai kekasaran permukaan, peningkatan nilai kekasaran permukaan ini dikarenakan beban yang diterima

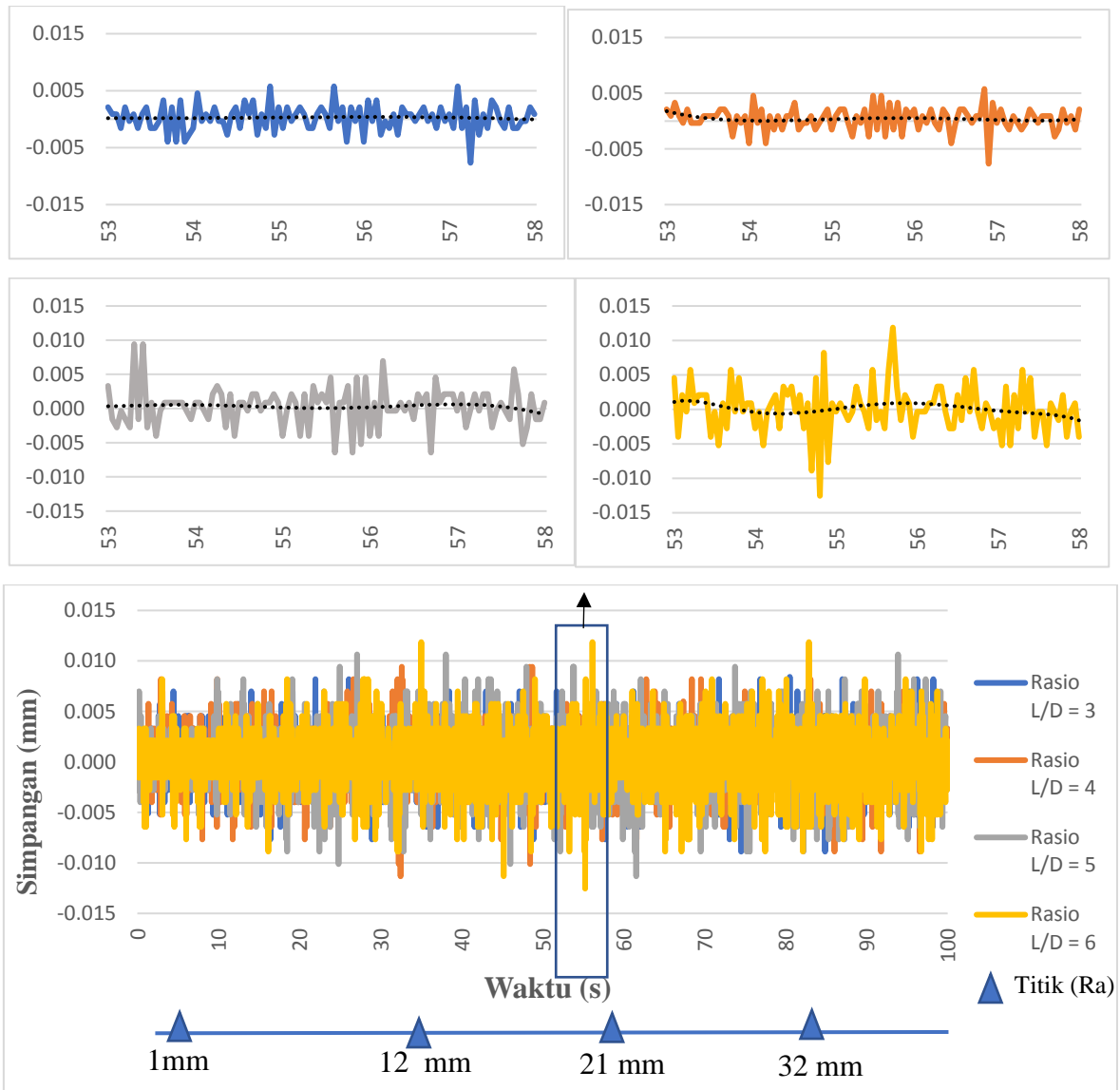
pahat semakin tinggi seiring dengan meningkatnya *depth of cut*, sehingga akan meningkatkan getaran pada pahat yang menyebabkan benda kerja semakin kasar dan turunnya nilai *depth of cut* menyebabkan menurunnya gaya pemotongan yang terjadi. Menurunnya gaya pemotongan dan rasio $L/D = 3$ akan menambah kekakuan *tool*, dimana dari rasio $L/D = 3$ dan nilai *depth of cut* yang rendah menyebabkan amplitudo getaran menurun selama proses permesinan, sehingga dapat menyebabkan permukaan akhir benda kerja semakin halus.

Pada grafik di atas diperlihatkan bahwa proses *down milling* dengan rasio $L/D = 3$ serta menggunakan nilai *depth of cut* 3 mm memiliki nilai kekasaran permukaan yang lebih kecil daripada proses *down milling* dengan menggunakan rasio $L/D = 6$ dengan *depth of cut* yang sama 3 mm. Penurunan nilai kekasaran dengan menggunakan rasio $L/D = 3$ dikarenakan adanya peredaman yang ditimbulkan oleh kekakuan pahat, sehingga getaran yang terjadi pada pahat pada saat proses pemakanan benda kerja akan berkurang yang menyebabkan nilai kekasaran permukaan benda kerja menurun.

4.3.2 Grafik dan Pembahasan Simpangan Getaran pada Proses *down milling* variasi *depth of cut* dengan L/D rasio 3,4,5,6 .

Pada saat proses pemakanan berlangsung dilakukan pengambilan data amplitudo, digunakan untuk mengetahui getaran permesinan (*chatter*) yang terjadi saat proses pemakanan berlangsung serta penggunaan variasi rasio $L/D = 3,4,5,6$ untuk meredam *chatter*. *Chatter* inilah yang nantinya akan berpengaruh terhadap kekasaran permukaan benda kerja. alat yang digunakan untuk pengambilan data ialah *vibration meter*. Pengambilan data simpangan getaran juga dilakukan dengan bantuan *software* LabView 2013.

Pada gambar 4.2 di bawah menunjukkan grafik simpangan getaran yang terjadi saat proses *down milling* menggunakan variasi *depth of cut* 3 mm dengan rasio $L/D = 3, 4, 5, 6$ berlangsung. Dimana sumbu x menunjukkan waktu ketika proses pemakanan (sekon) dan sumbu y menunjukkan simpangan yang terjadi pada sistem (mm). Pada garis yang berwarna biru menunjukkan grafik pada saat proses pemakanan dengan menggunakan rasio $L/D = 3$, warna merah pada proses pemakanan dengan rasio $L/D = 4$, warna abu-abu pada proses pemakanan dengan rasio $L/D = 5$ dan warna kuning pada proses pemakanan dengan rasio $L/D = 6$



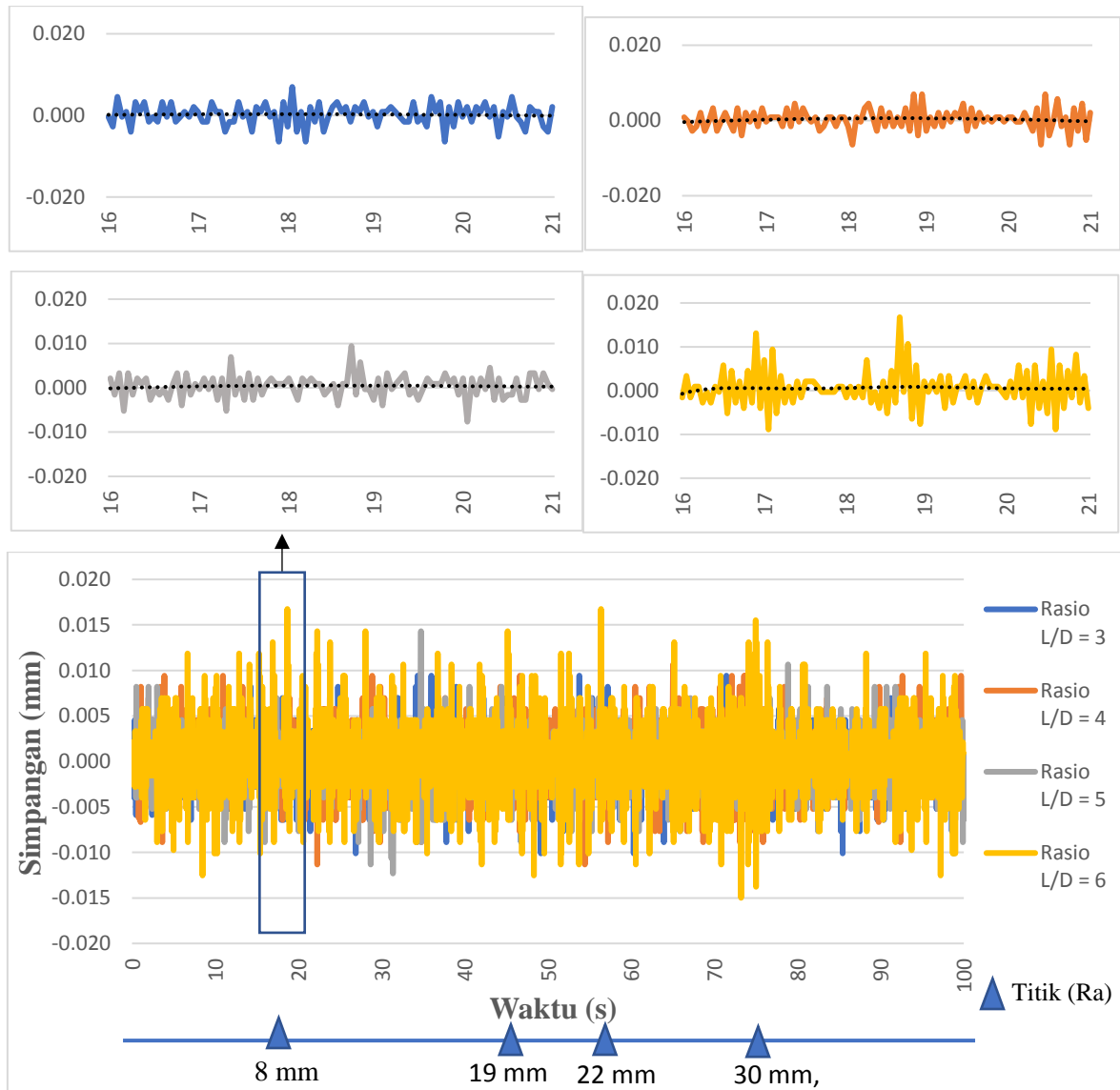
Gambar 4.2 Grafik dan Pembahasan Simpangan Getaran pada Proses *down milling* dengan *depth of cut* 3 mm dan variasi L/D rasio = 3,4,5,6.

Dari gambar 4.2 di atas menunjukkan grafik yang terjadi pada proses *down milling* dengan variasi *depth of cut* 3 mm dan rasio $L/D = 3,4,5,6$. Grafik di atas tanda panah menunjukkan bagian dari grafik yang di dalam kolom dimana terjadi simpangan maksimum pada proses *down milling* berlangsung. Grafik di atas juga menunjukkan lebih jelas bagaimana pengaruh penggunaan rasio $L/D = 3, 4, 5, 6$ dalam proses *down milling* dapat menurunkan simpangan getaran.

Dari grafik gambar 4.2 menunjukkan bahwa simpangan yang terjadi pada rasio $L/D = 6$ lebih jauh simpangannya dibanding yang lain, simpangan rata-rata amplitudo adalah 0.00019922 mm dengan simpangan positif terjauh 0,0118 mm dan simpangan negatif terjauh -0,0125 mm. Pada rasio $L/D = 5$ dimana simpangan rata-rata 0.00017480 dan

simpangan positif terjauh 0,0106 mm dan simpangan negatif terjauh -0,0113 mm. Pada rasio $L/D = 4$ simpangan rata-rata 0.00016259 dan simpangan positif terjauh 0,0094 mm dan simpangan negatif terjauh -0,0011 mm. Pada rasio $L/D = 3$ dimana simpangan rata-rata 0.00009721 simpangan positif terjauh 0,0084 mm dan simpangan negatif terjauh -0,0088 mm. Hal ini menunjukkan dimana semakin pendek l (*overhang*) atau panjang (l) dan diameter (D) = 10 mm (tetap) akan menambah kekakuan (K) semakin besar, jika kekakuan (K) besar membuat pahat akan lebih stabil ketika proses pemakanan benda kerja hal ini dikarenakan perpindahan *transversal* pada pahat akan semakin kecil, dan *chatter* yang ditimbulkan akan semakin berkurang, jadi akan menghasilkan simpangan terjauh dari getaran juga kecil.

Gambar 4.3 menunjukkan grafik simpangan getaran yang terjadi saat proses pemakanan berlangsung dengan variasi *depth of cut* 3,5 mm. Dimana sumbu x menunjukkan waktu ketika proses pemakanan (sekon) dan sumbu y menunjukkan simpangan yang terjadi pada sistem (mm). Pada garis yang berwarna biru menunjukkan grafik pada saat proses pemakanan dengan menggunakan rasio $L/D = 3$, warna merah pada proses pemakanan dengan rasio $L/D = 4$, warna abu-abu pada proses pemakanan dengan rasio $L/D = 5$ dan warna kuning pada proses pemakanan dengan rasio $L/D = 6$.

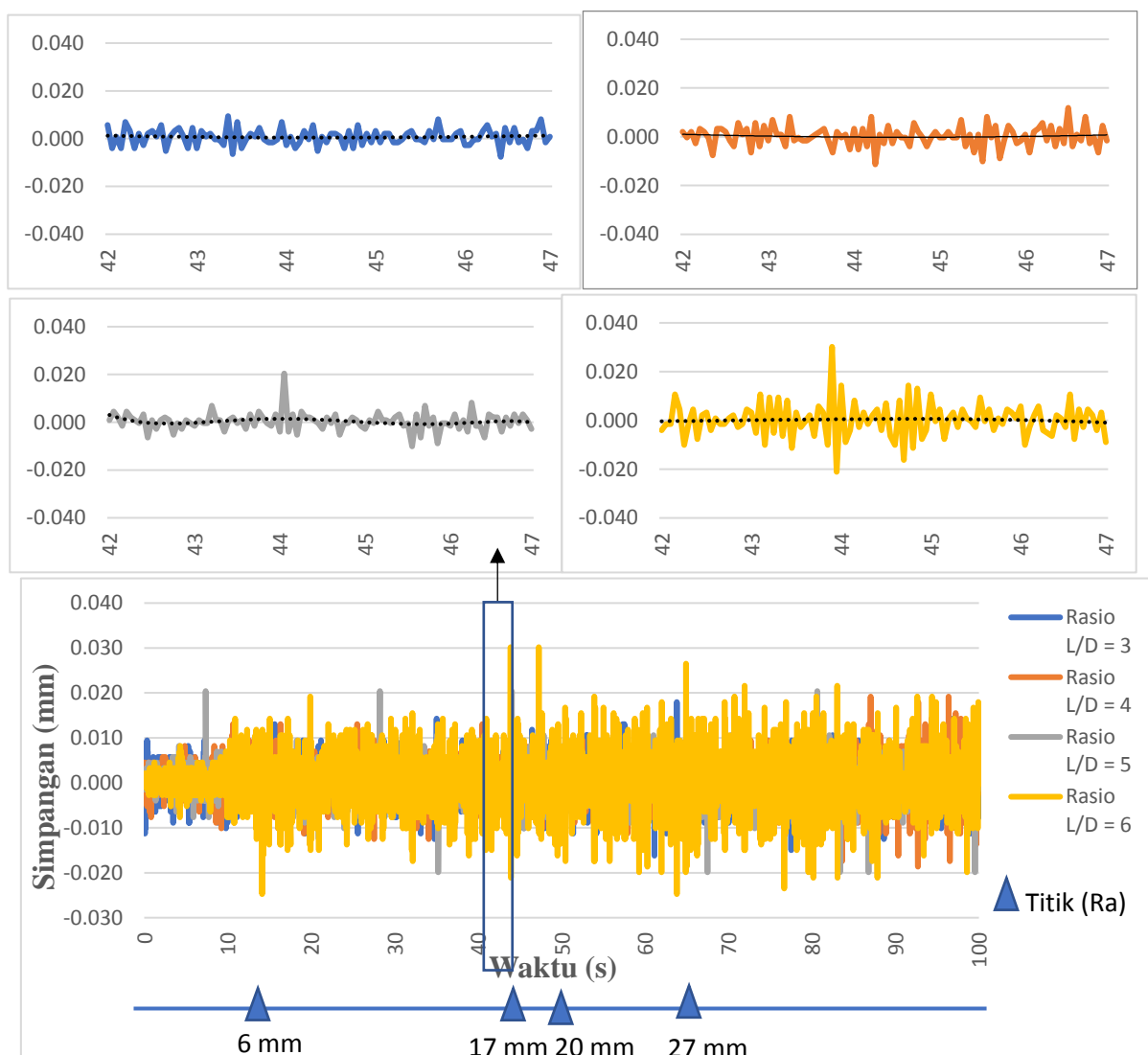


Gambar 4.3 Grafik dan Pembahasan Simpangan Getaran pada Proses *down milling* dengan *depth of cut* 3,5 mm dan variasi L/D rasio = 3,4,5,6.

Dari grafik di atas menunjukkan kecenderungan yang sama dengan grafik gambar 4.2 bahwa simpangan yang terjadi pada rasio $L/D = 6$ nilai rata-rata amplitudo 0.00030908 lebih jauh simpangannya dibanding yang lain, dengan simpangan positif terjauh 0,0167 mm dan simpangan negatif terjauh -0,0149 mm. Pada rasio $L/D = 5$ nilai amplitudo rata-rata 0.00030268 simpangan positif terjauh 0,0143 mm dan simpangan negatif terjauh -0,0123 mm. Pada rasio $L/D = 4$ nilai amplitudo rata-rata 0.00028467 simpangan positif terjauh 0,0106 mm dan simpangan negatif terjauh -0,0113 mm. Pada rasio $L/D = 3$ nilai amplitudo rata-rata 0.00025433 simpangan positif terjauh 0,0094 mm dan simpangan negatif terjauh -0,0101 mm. Hal ini menunjukkan dimana semakin pendek l (*overhang*) atau panjang (l) dan diameter (D) = 10 mm (tetap) akan menambah kekakuan (K) semakin

besar, jika kekakuan (K) besar membuat pahat akan lebih stabil ketika proses pemakanan benda kerja karena perpindahan *transversal* pada pahat akan semakin kecil, dan *chatter* yang ditimbulkan akan semakin berkurang, jadi akan menghasilkan simpangan terjauh dari getaran juga kecil.

Gambar 4.4 di bawah menunjukkan grafik amplitudo getaran yang terjadi saat proses *down milling* berlangsung dengan variasi *depth of cut* 4 mm. Dimana sumbu x menunjukkan waktu ketika proses pemakanan (sekon) dan sumbu y menunjukkan simpangan yang terjadi (mm). Pada garis yang berwarna biru menunjukkan grafik pada saat proses pemakanan dengan menggunakan rasio $L/D = 3$, warna merah pada proses pemakanan dengan rasio $L/D = 4$, warna abu-abu pada proses pemakanan dengan rasio $L/D = 5$ dan warna kuning pada proses pemakanan dengan rasio $L/D = 6$.



Gambar 4.4 Grafik dan Pembahasan Simpangan Getaran pada Proses *down milling* dengan *depth of cut* 4 mm dan variasi L/D rasio = 3,4,5,6.

Dari grafik gambar 4.4 menunjukkan kecenderungan yang sama dengan grafik gambar 4.2 bahwa simpangan yang terjadi pada rasio $L/D = 6$ nilai rata-rata amplitudo 0.00071191 lebih jauh simpangannya dibanding yang lain, dengan simpangan positif terjauh 0,0301 mm dan simpangan negatif terjauh -0,0247 mm. Pada rasio $L/D = 5$ nilai rata-rata amplitudo 0.00052881 simpangan positif terjauh 0,0204 mm dan simpangan negatif terjauh -0,0198 mm. Pada rasio $L/D = 4$ nilai rata-rata amplitudo 0.00037519 simpangan positif terjauh 0,0191 mm dan simpangan negatif terjauh -0,0186 mm. Pada rasio $L/D = 3$ nilai rata-rata amplitudo 0.0003579 simpangan positif terjauh 0,0179 mm dan simpangan negatif terjauh -0,0162 mm. Hal ini menunjukkan dimana semakin pendek l (*overhang*) atau panjang (l) dan diameter (D) = 10 mm (tetap) akan menambah kekakuan (K) semakin besar, jika kekakuan (K) besar membuat pahat akan lebih stabil ketika proses pemakanan benda kerja karena perpindahan *transversal* pada pahat akan semakin kecil, dan *chatter* yang ditimbulkan akan semakin berkurang, jadi akan menghasilkan simpangan terjauh dari getaran juga kecil.

Grafik pada gambar 4.2, 4.3, dan 4.4 di atas menggambarkan bahwa dengan mengurangi rasio L/D mengurangi *chatter* yang terjadi. Hal ini karena semakin pendek l (*overhang*) maka rasio L/D akan semakin kecil karena diameter (D) konstan dan kekakuan (K) semakin besar, jika kekakuan (K) besar membuat pahat stabil karena perpindahan transversal pahat semakin kecil, dan *chatter* yang ditimbulkan akan semakin kecil, jadi simpangan terjauh dari getaran juga kecil.

Apabila kita bandingkan gambar 4.2, 4.3 dan 4.4, maka dapat dilihat grafik pada gambar tersebut mengalami penurunan nilai maksimum amplitudo. Hal ini dikarenakan semakin kecil kedalaman pemotongan *depth of cut* dan menggunakan rasio $L/D = 3$ maka gaya pemotongan yang diterima oleh pahat semakin kecil. Hal ini sebagaimana ditunjukkan pada persamaan 2-6 berikut :

$$A_c = h \cdot b \dots\dots\dots(2-4)$$

$$F_c = \frac{\tau_s \cdot A_c \cdot \cos(\beta - \gamma_{ne})}{\sin\phi \cdot \cos(\phi + \beta - \gamma_{ne})} \dots\dots\dots(2-6)$$

Nilai b dan h merupakan luas bidang geram (A_c) yang dihasilkan dari proses pemakanan, jika nilai kedalaman pemotongan *depth of cut*, maka nilai b dan h akan semakin menurun. Dari persamaan 2-6 dapat kita ketahui bahwa gaya pemotongan F_c berbanding lurus dengan luas bidang geram, sehingga semakin kecil kedalaman

pemotongan *depth of cut*, maka luas bidang geram akan semakin menurun, dan F_c juga akan menurun.

Semakin kecil gaya pemotongan maka getaran yang dialami pahat juga semakin kecil. Hal ini sebagaimana ditunjukkan pada persamaan 2-7 berikut :

$$a_v = \frac{F_c}{\sqrt{4\delta^2\omega_f^2 - (\omega_n^2 - \omega_f^2)^2}} \dots\dots\dots(2-7)$$

Dimana :

a_v = Amplitudo getaran

F_c = Gaya pemotongan

Dari persamaan 2-7 terlihat bahwa gaya pemotongan berbanding lurus dengan amplitudo, sehingga semakin kecil gaya pemotongan, maka amplitudo juga akan menurun. Sehingga getaran pada pahat akan menurun, dan membuat permukaan benda kerja menjadi lebih halus.

Nilai amplitudo semakin kecil seiring dengan nilai rasio L/D minimal menunjukkan menurunnya nilai kekasaran permukaan benda kerja, seperti ditunjukkan grafik pada gambar 4.1. Namun dengan adanya nilai minimal dari rasio L/D , nilai amplitudo pada masing-masing *depth of cut* dapat mengalami penurunan, hal ini diiringi juga dengan penurunan nilai kekasaran permukaan benda kerja. Sehingga dapat disimpulkan bahwa proses *slot milling* dengan nilai rasio $L/D = 3$ dapat mengurangi getaran pada pahat, sehingga dapat mereduksi nilai kekasaran permukaan.

