

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Setelah melakukan proses *up milling* pada benda kerja, dengan variasi *depth of cut* dan rasio L/D, benda kerja hasil proses *up milling* kemudian dilakukan pengujian kekasaran permukaan menggunakan *Surface Roughness Tester* untuk mendapatkan nilai kekasaran (Ra). Hasil proses *up milling* masing-masing di ambil 4 sampel nilai kekasaran permukaan (Ra). Data kekasaran permukaan (Ra) dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1
Data Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan (Ra)

<i>Depth Of Cut</i>	Rasio L/D=3	Rata-rata Ra	Rasio L/D=4	Rata-rata Ra	Rasio L/D=5	Rata-rata Ra	Rasio L/D=6	Rata-rata Ra
3	0,36	0,36875	0,476	0,48725	0,881	0,88725	0,894	1,039
	0,365		0,484		0,888		1,031	
	0,373		0,494		0,889		1,082	
	0,377		0,495		0,891		1,149	
3,5	1,101	1,15375	1,368	1,36975	1,523	1,53325	1,934	1,9785
	1,158		1,369		1,532		1,987	
	1,177		1,37		1,533		1,991	
	1,179		1,372		1,545		2,002	
4	2,103	2,18325	2,227	2,2495	2,565	2,576	3,028	3,03725
	2,199		2,243		2,566		3,032	
	2,215		2,249		2,582		3,039	
	2,216		2,279		2,591		3,05	

4.2 Analisis Regresi

Analisis regresi adalah analisis yang digunakan untuk melihat pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat. Perhitungan dengan metode numerik regresi digunakan untuk mendapatkan persamaan regresi hubungan antara *depth of cut* dan rasio L/D sebagai variabel bebas dengan kekasaran permukaan (R_a) sebagai variabel terikat.

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

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

Keterangan:

- Ra : kekasaran permukaan
- C : konstan
- v : kecepatan pemotongan
- f : kecepatan pemakanan
- α : kedalaman pemotongan
- p_1, p_2, p_3 : eksponen

Pada penelitian ini kecepatan pemotongan (v) dan kecepatan pemakanan (f) konstan, dan hanya memakai satu variabel bebas yaitu kedalaman pemakanan (a) maka nilai kekasaran permukaan (R_a) bisa dinyatakan:

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

dengan:

$$(C \cdot v^{p_1} \cdot f^{p_2}) : C \text{ (konstanta)}$$

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:

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

Dari grafik hubungan *depth of cut* dan rasio L/D terhadap kekasaran permukaan (R_a) pada proses *up milling* didapatkan persamaan langsung dari Microsoft Excel berupa $Y = 0,0019e^{1,7785x}$ jadi dari persamaan (4-3) disimpulkan menjadi $R_a = 0,0019f^{1,81488}$.

Sesuai dengan persamaan regresi nonlinier yang diperoleh dari tabel 4.1, nilai C adalah sebesar 0,0019, dan nilai p adalah sebesar 1,81488, oleh karena itu dapat diinterpretasikan jika nilai α (kedalaman pemakanan) pada persamaan R_a diatas bernilai 1, maka nilai R_a (kekasaran permukaan) akan mengalami penambahan sebesar $0,0019f^{1,81488} \mu\text{m}$.

Dengan cara perhitungan yang sama seperti perhitungan regresi linier pada $L/D = 3$, didapatkan hasil hubungan R_a (kekasaran permukaan) dengan α (kedalaman pemakanan) yaitu, pada rasio $L/D = 4$ adalah $R_a = 0,0054f^{1,76224}$, pada rasio $L/D = 5$ adalah $R_a = 0,0364f^{1,6895}$, pada rasio $L/D = 6$ adalah $R_a = 0,0431f^{1,9925}$.

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.

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

dengan:

R : Koefisien Korelasi

R^2 : Koefisien Determinasi

$\sum X^2$: 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 didapatkan koefisien korelasi (R) dan koefisien determinasi (R^2) dari kedalaman pemakanan terhadap nilai kekasaran permukaan pada proses *up milling* pada rasio L/D pahat = 3 yaitu:

$$R = 0,9869$$

$$R^2 = 0,974$$

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

Pada L/D pahat = 3 dapat dilihat dibawah yaitu hasil foto mikrostruktur pada *depth of cut* 3 mm 3,5 mm dan 4 mm.

Foto mikrostruktur pada *depth of cut* 3 mm

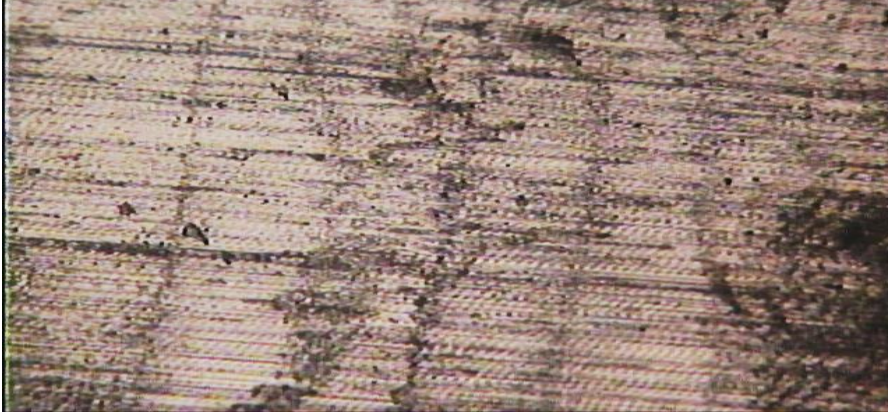


Foto mikrostruktur pada *depth of cut* 3,5 mm

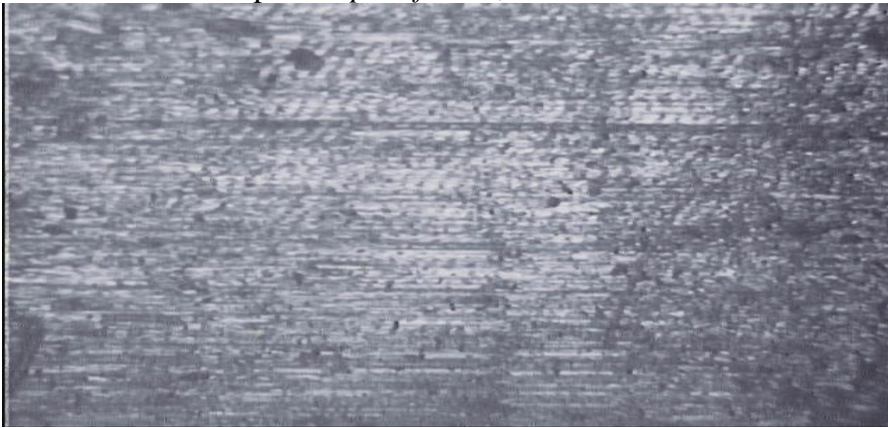
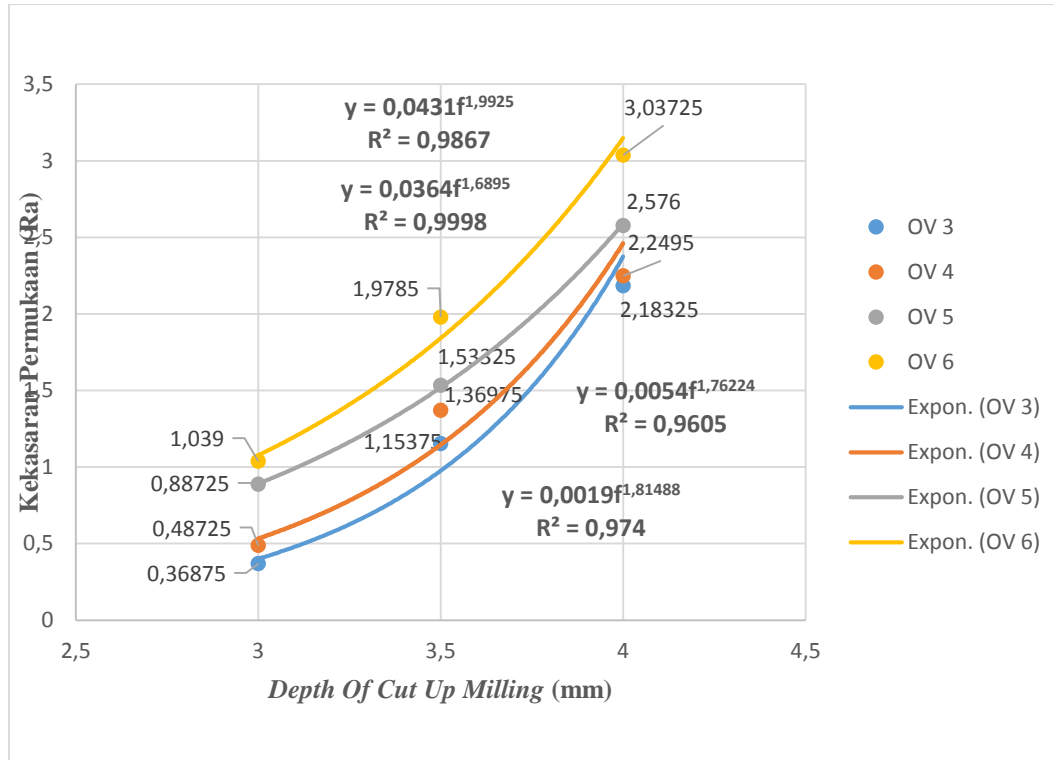


Foto mikrostruktur pada *depth of cut* 4 mm



4.3 Grafik dan Pembahasan

4.3.1 Grafik dan Pembahasan Hubungan *Depth Of Cut* dan Rasio L/D terhadap Kekasaran Permukaan pada Proses *Up Milling*



Gambar 4.1 Grafik Hubungan *Depth Of Cut* dan Rasio L/D terhadap Kekasaran Permukaan pada Proses *Up Milling*

Gambar 4.1 adalah grafik yang menjelaskan tentang hubungan *depth of cut* dan rasio L/D terhadap kekasaran permukaan pada proses *up milling*. Sumbu x menunjukkan *depth of cut* pada proses *up milling* dan sumbu y menunjukkan kekasaran permukaan (Ra). Untuk titik-titik dan garis biru adalah grafik hasil *up milling* dengan *overhang* 3, garis orange *overhang* 4, garis abu-abu *overhang* 5 dan garis kuning grafik hasil *up milling overhang* 6.

Grafik pada gambar 4.1 diatas menunjukkan bahwa pada proses *up milling* dengan *overhang* 3,4,5, dan 6 yang sudah dilakukan pada benda kerja, membuat nilai kekasaran permukaan benda kerja menjadi besar. Pada grafik juga memperlihatkan bahwa semakin besar *depth of cut* dan rasio L/D pada proses *up milling*, maka nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan akan semakin besar. Nilai kekasaran permukaan terbesar didapatkan pada *depth of cut* 4 mm dengan *overhang* 6 (garis kuning), dimana nilai Ra yang didapatkan adalah 3,03725 μm pada *depth of cut* 4 mm. Untuk nilai kekasaran permukaan paling rendah pada *depth of cut* 3 mm *overhang* 3 (garis biru) dengan kekasaran permukaan yang

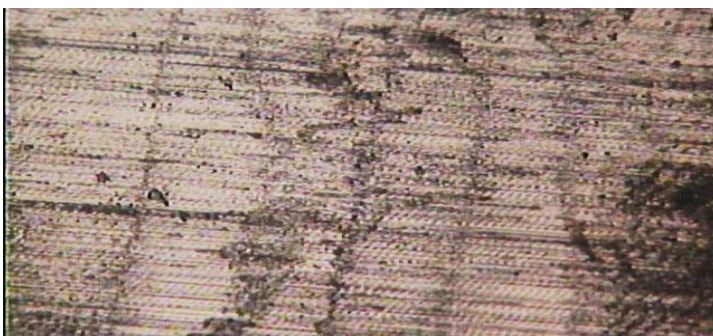
dihasilkan adalah $0,36875 \mu\text{m}$. Penurunan nilai kekasaran permukaan pada proses *up milling* ini disebabkan dengan semakin pendeknya *overhang* yang diberikan.

Grafik pada gambar 4.1 diperlihatkan bahwa pada proses *up milling* dengan *depth of cut* 3 mm dan *overhang* 3 (garis biru) memiliki nilai kekasaran permukaan yang lebih kecil dibandingkan dengan proses *up milling* dengan *depth of cut* dan *overhang* yang lain. Penurunan nilai kekasaran permukaan pada *depth of cut* 3 mm dan *overhang* 3 dikarenakan semakin kecilnya *overhang* yang diberikan dan juga *depth of cut*, sehingga getaran yang terjadi pada pahat akan berkurang yang menyebabkan nilai kekasaran permukaan benda kerja pada proses *up milling* menurun.

Pengambilan data simpangan pada penelitian ini dilakukan saat proses permesinan berlangsung dengan menggunakan alat *vibration meter*. Pengambilan data simpangan digunakan untuk mengetahui getaran pada saat proses permesinan. Pengambilan data simpangan dilakukan dengan bantuan *software* LabView 2013. Pada gambar 4.14 dibawah sumbu x menunjukkan waktu pemakanan (s) dan sumbu y menunjukkan simpangan yang terjadi pada sistem (mm). Untuk garis berwarna biru menunjukkan *overhang* 3, garis orange menunjukkan *overhange* 4, garis abu-abu menunjukkan *overhang* 5, dan garis kuning menunjukkan *overhang* 6.

4.4 Analisa Mikrostruktur

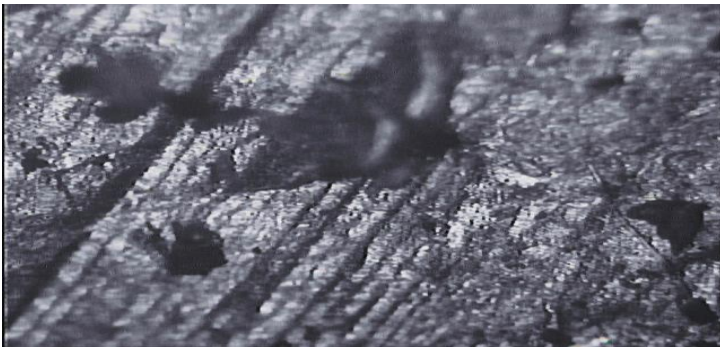
4.4.1 Analisa Mikrostruktur dengan *Depth Of Cut* 3 mm dan Rasio L/D



Gambar 4.2 Foto Mikrostruktur dengan *Depth Of Cut* 3 mm dan Rasio L/D=3



Gambar 4.3 Foto Mikrostruktur dengan *Depth Of Cut* 3 mm dan Rasio L/D=4



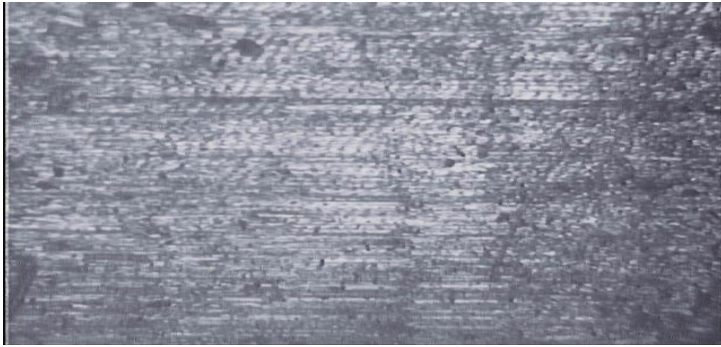
Gambar 4.4 Foto Mikrostruktur dengan *Depth Of Cut* 3 mm dan Rasio L/D=5



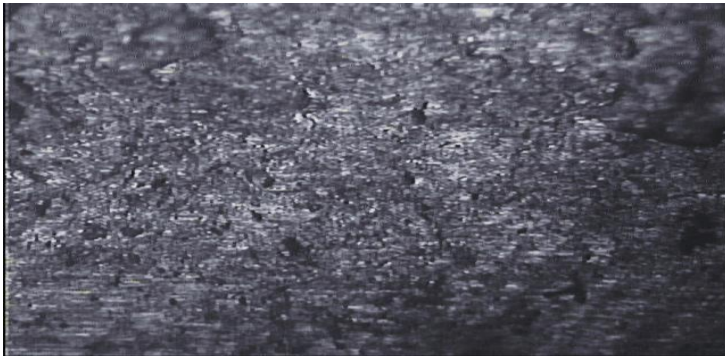
Gambar 4.5 Foto Mikrostruktur dengan *Depth Of Cut* 3 mm dan Rasio L/D=6

Dari analisa foto mikrostruktur dapat dilihat bahwa pada *depth of cut* 3 mm dan rasio L/D pada proses *up milling*, ditunjukkan bahwa semakin kecil rasio L/D yang diberikan maka kekasaran permukaan yang dihasilkan adalah semakin kecil dan semakin besar rasio L/D yang diberikan maka kekasaran permukaan yang dihasilkan adalah semakin besar. pengaruh penggunaan *overhang* dapat menurunkan kekasaran permukaan yang terjadi pada proses *up milling*.

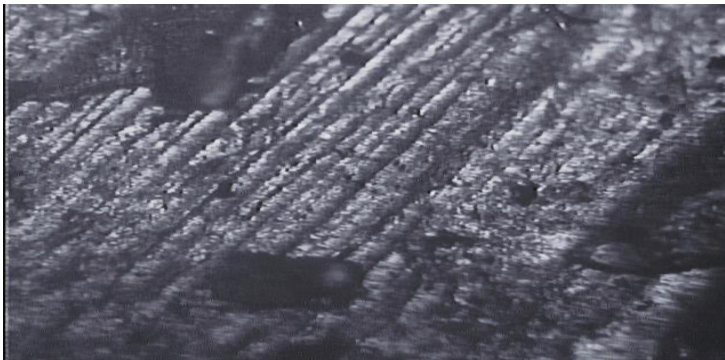
4.4.2 Analisa Mikrostruktur dengan *Depth Of Cut* 3,5 mm dan Rasio L/D



Gambar 4.6 Foto Mikrostruktur dengan *Depth Of Cut* 3,5 mm dan Rasio L/D=3



Gambar 4.7 Foto Mikrostruktur dengan *Depth Of Cut* 3,5 mm dan Rasio L/D=4



Gambar 4.8 Foto Mikrostruktur dengan *Depth Of Cut* 3,5 mm dan Rasio L/D=5



Gambar 4.9 Foto Mikrostruktur dengan *Depth Of Cut* 3,5 mm dan Rasio L/D=6

Analisa foto mikrostruktur dengan *depth of cut* 3,5 mm dan rasio L/D pada proses *up milling* diatas juga menunjukkan bahwa semakin besar rasio L/D yang diberikan maka kekasaran permukaan yang dihasilkan akan semakin besar begitu juga sebaliknya.

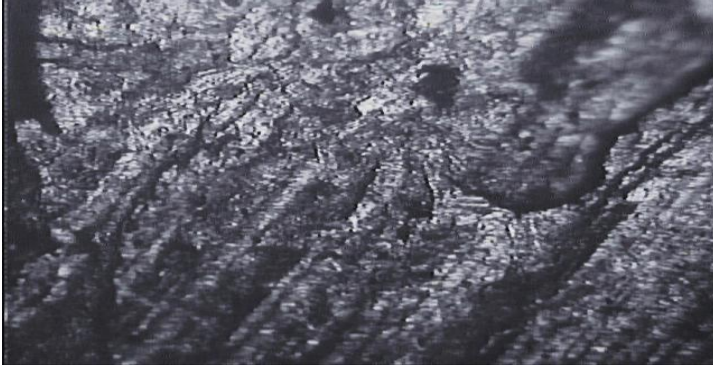
4.4.3 Analisa Mikrostruktur dengan *Depth Of Cut* 4 mm dan Rasio L/D



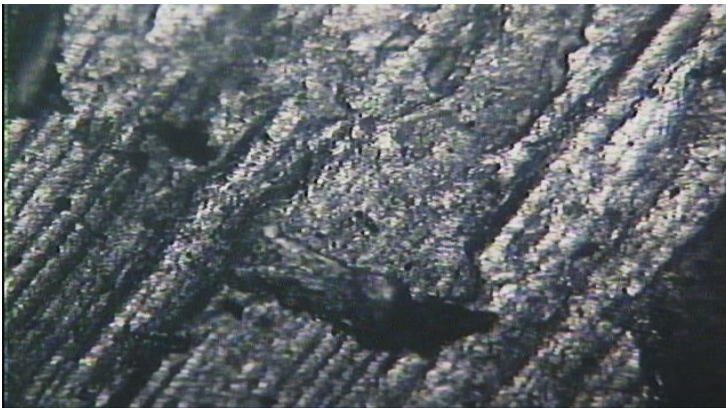
Gambar 4.10 Foto Mikrostruktur dengan *Depth Of Cut* 4 mm dan Rasio L/D=3



Gambar 4.11 Foto Mikrostruktur dengan *Depth Of Cut* 4 mm dan Rasio L/D=4



Gambar 4.12 Foto Mikrostruktur dengan *Depth Of Cut* 4 mm dan Rasio L/D=5



Gambar 4.13 Foto Mikrostruktur dengan *Depth Of Cut* 4 mm dan Rasio L/D=6

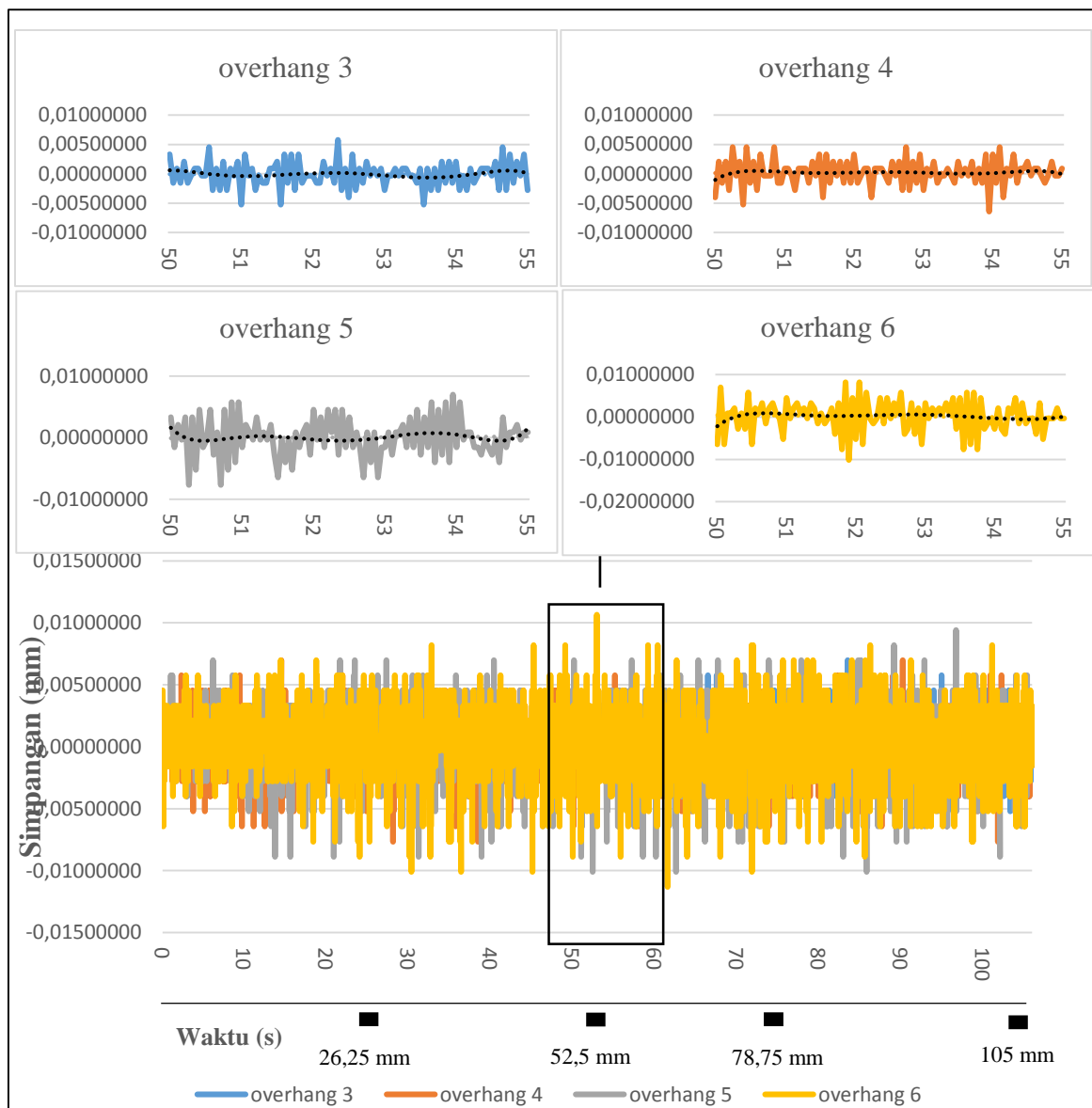
Pada *depth of cut* 4 mm dan rasio L/D, analisa foto mikrostruktur pada proses *up milling* diatas menunjukkan bahwa pada foto mikrostruktur *depth of cut* 4 mm dan rasio L/D=3 menghasilkan kekasaran permukaan yang menurun, dan pada foto mikrostruktur *depth of cut* 4 mm dan rasio L/D=6 menghasilkan kekasaran permukaan yang meningkat.

Dari analisa foto mikrostruktur pada *depth of cut* 3, 3,5, 4 mm dan rasio L/D diatas menunjukkan bahwa pada *depth of cut* dan penggunaan *overhang* yang semakin kecil dapat menurunkan nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan pada proses *up milling*.

Dari gambar 4.14 dibawah menunjukkan grafik simpangan yang terjadi pada proses *up milling* dengan *depth of cut* 3 mm dan rasio L/D. Grafik dibawah tanda panah pada gambar 4.14 menunjukkan bagian dari grafik yang didalam kolom dimana terjadi simpangan maksimum pada proses *up milling* dengan *depth of cut* 3 mm dan rasio L/D berlangsung. Grafik tersebut juga menunjukkan bagaimana pengaruh *overhang* pada proses *up milling* dapat menurunkan simpangan getaran. Nilai simpangan yang paling besar pada proses *up milling* dengan *depth of cut* 3 mm adalah pada *overhang* 6 (garis kuning) 0,01464840 mm,

sedangkan simpangan yang paling kecil pada proses *up milling* dengan *depth of cut* 3 mm adalah pada *overhang* 3 (garis merah) $-0,00366211$ mm. Simpangan rata-rata yang terjadi pada setiap *overhang* yaitu *overhang* 3= $0,00029061$ mm, *overhang* 4= $0,00018403$ mm, *overhang* 5= $0,00024740$ mm, *overhang* 6= $0,00129989$ mm.

4.5 Grafik dan Pembahasan Simpangan Getaran pada Proses *Up Milling* dengan *Depth Of Cut* 3 mm dan Rasio L/D



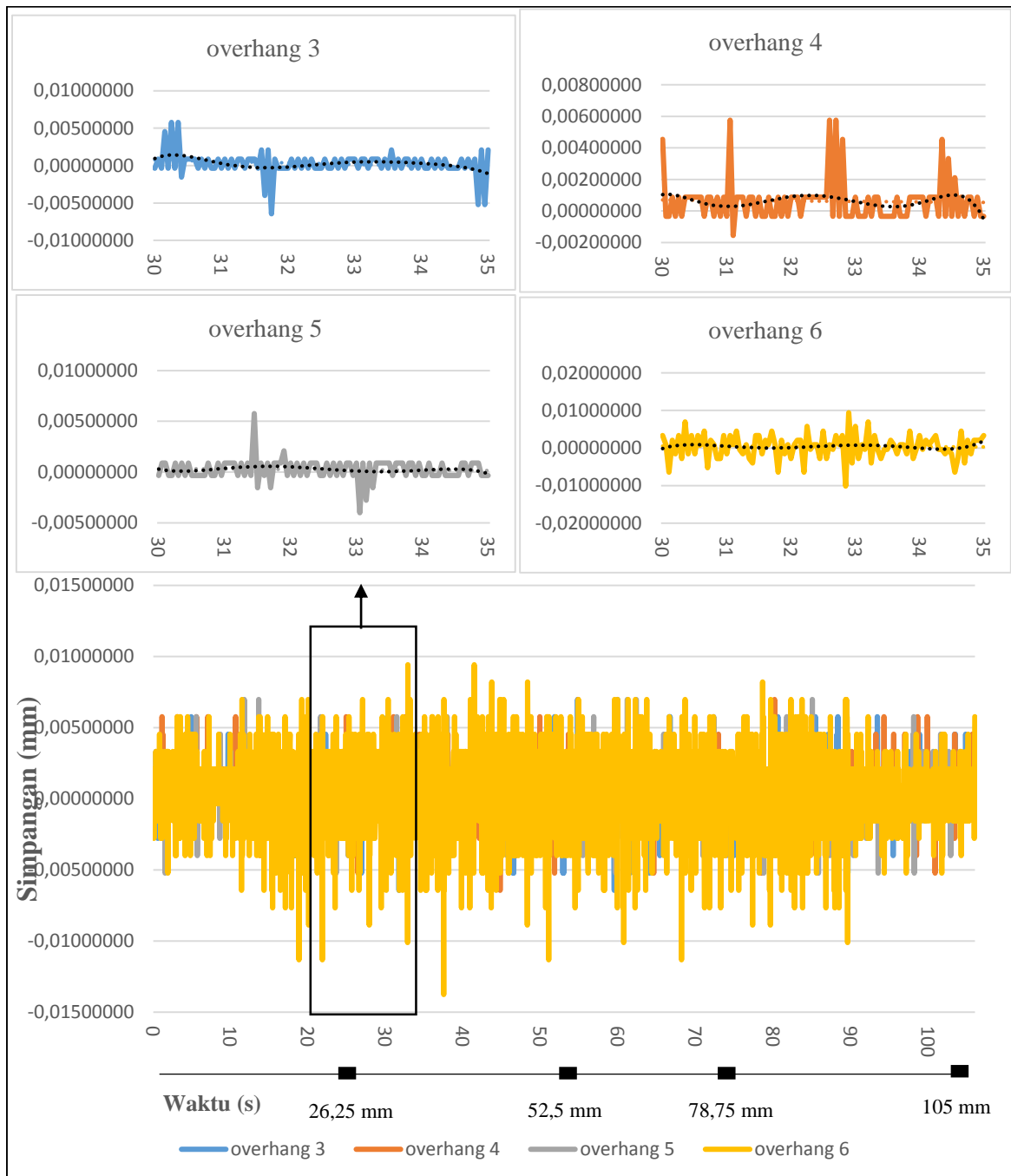
Gambar 4.14 Grafik Simpangan Getaran pada Proses *Up Milling* dengan *Depth Of Cut* 3 mm dan rasio L/D

Gambar 4.15 dibawah menunjukkan lebih jelas bagaimana pengaruh penggunaan *overhang* pada proses *up milling* dapat menurunkan simpangan getaran. Nilai simpangan

yang paling besar pada proses *up milling* dengan *depth of cut* 3,5 mm sebesar 0,14648400 mm pada *overhang* 6 (garis kuning), sedangkan nilai simpangan yang paling kecil pada *depth of cut* 3,5 mm adalah -0,00244141 mm pada *overhang* 3 (garis biru). Grafik diatas tanda panah pada gambar 4.15 menunjukkan bagian dari grafik yang didalam kolom dimana terjadi simpangan maksimum pada proses *up milling* berlangsung. Grafik tersebut juga menunjukkan lebih jelas bagaimana pengaruh penggunaan *overhang* pada proses *up milling* dapat menurunkan simpangan getaran yang terjadi yaitu dimana pada *depth of cut* 3,5 mm dan *overhang* 3 (garis biru) tidak lebih besar dari *depth of cut* 3,5 mm pada *overhang* 6 (garis kuning). Simpangan rata-rata yang terjadi pada setiap *overhang* yaitu *overhang* 3= 0,00032632 mm, *overhang* 4= 0,00033727 mm, *overhang* 5= 0,00037644 mm, dan *overhang* 6= 0,00035686 mm.

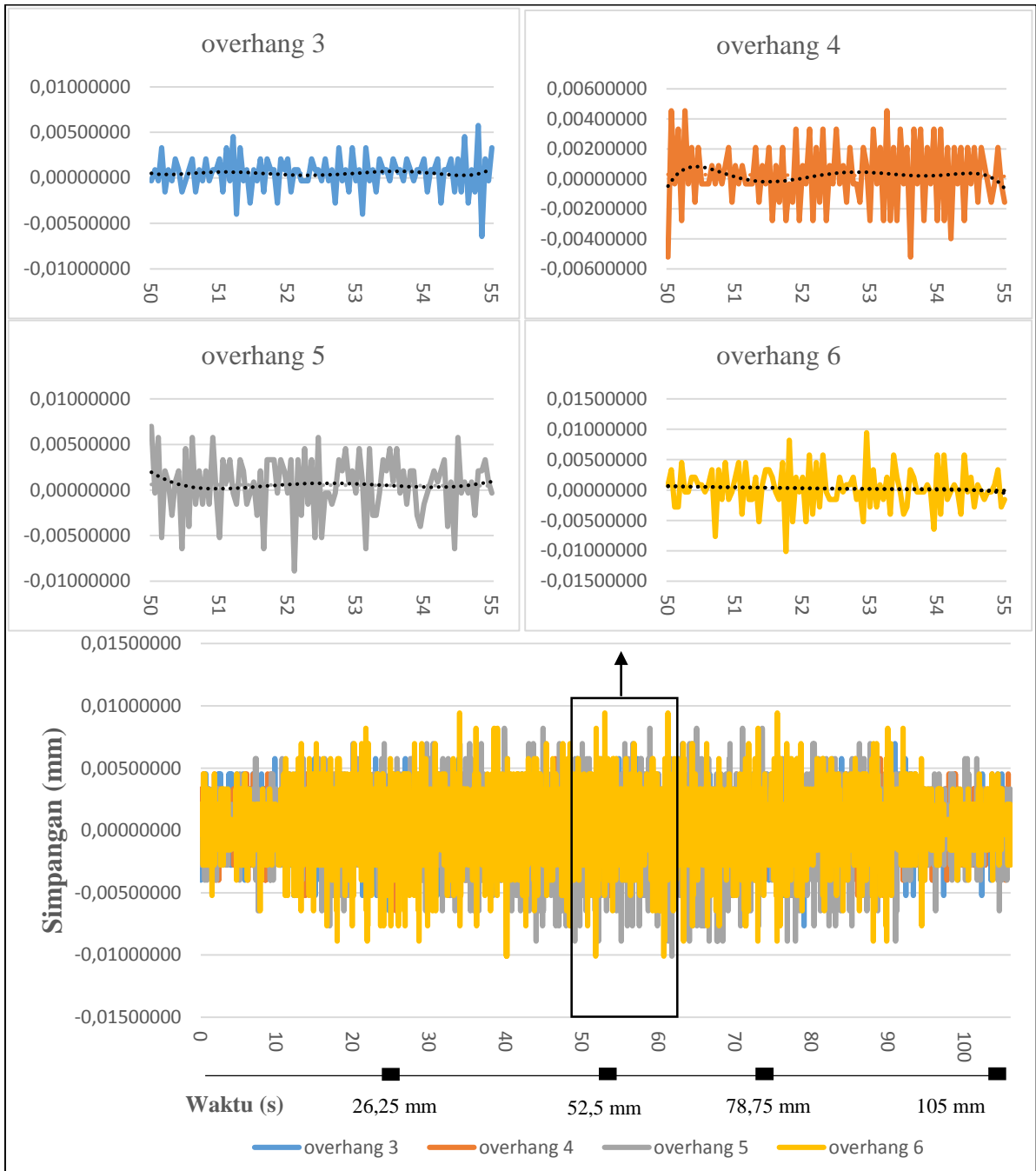
Pada gambar 4.16 dibawah nilai simpangan yang paling besar adalah 0,01342770 mm pada *depth of cut* 4 mm dan *overhang* 6 (garis kuning), sedangkan simpangan yang paling kecil pada *depth of cut* 4 mm *overhang* 3 (garis biru) sebesar -0,00366211 mm. Simpangan rata-rata yang terjadi pada setiap *overhang* yaitu *overhang* 3= 0,00037414 mm, *overhang* 4= 0,00035225 mm, *overhang* 5= 0,00043405 mm, dan *overhang* 6= 0,00033381 mm.

4.6 Grafik dan Pembahasan Simpangan Getaran pada Proses *Up Milling* dengan *Depth Of Cut* 3,5 mm dan Rasio L/D



Gambar 4.15 Grafik Simpangan Getaran pada Proses *Up Milling* dengan *Depth Of Cut* 3,5 mm dan rasio L/D

4.7 Grafik dan Pembahasan Simpangan Getaran pada Proses *Up Milling* dengan *Depth Of Cut* 4 mm dan Rasio L/D



Gambar 4.16 Grafik Simpangan Getaran pada Proses *Up Milling* dengan *Depth Of Cut* 4 mm dan rasio L/D

Apabila kita bandingkan gambar 4.5, 4.6, dan 4.7 maka dapat dilihat dari grafik pada gambar tersebut mengalami penurunan nilai simpangan maksimum, hal ini dikarenakan semakin besar *depth of cut* dan rasio L/D maka gaya pemotongan yang diterima oleh pahat akan semakin besar.

Semakin kecil gaya pemotongan maka getaran yang dialami pahat juga semakin kecil. Hal ini sebagaimana ditunjukkan pada persamaan 2-3 berikut :

$$a_v = \frac{F_c}{\sqrt{4\delta^2\omega_f^2 - (\omega_n^2 - \omega_f^2)^2}} \dots\dots\dots (2-3)$$

Keterangan:

a_v = Amplitudo getaran

F_c = Gaya pemotongan

Dari persamaan 2-3 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.

Grafik pada gambar 4.5, 4.6, dan 4.7 di atas menggambarkan bahwa proses *up milling* dengan *depth of cut* dan rasio L/D dapat meredam *chatter* yang terjadi. Amplitudo yang terjadi pada proses *up milling* pada masing-masing *depth of cut* dan rasio L/D memiliki amplitudo yang lebih kecil. Hal ini karena pengaruh pemberian *overhang* yang lebih kecil, sehingga menimbulkan peredaman getaran yang terjadi pada pahat selama proses permesinan berlangsung.

Nilai amplitudo semakin besar seiring meningkatnya *depth of cut* dan rasio L/D dan juga menunjukkan semakin meningkatnya nilai kekasaran permukaan benda kerja, seperti ditunjukkan grafik pada gambar 4.1. Namun dengan adanya pemberian *overhang* yang lebih kecil, nilai amplitudo pada masing-masing *depth of cut* dan rasio L/D dapat mengalami penurunan, hal ini diiringi juga dengan penurunan nilai kekasaran permukaan benda kerja. Sehingga dapat disimpulkan bahwa proses *up milling* dengan pemberian *overhang* yang lebih kecil dapat meredam getaran pada pahat, sehingga dapat mereduksi nilai kekasaran permukaan.

