

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Data Hasil Penelitian

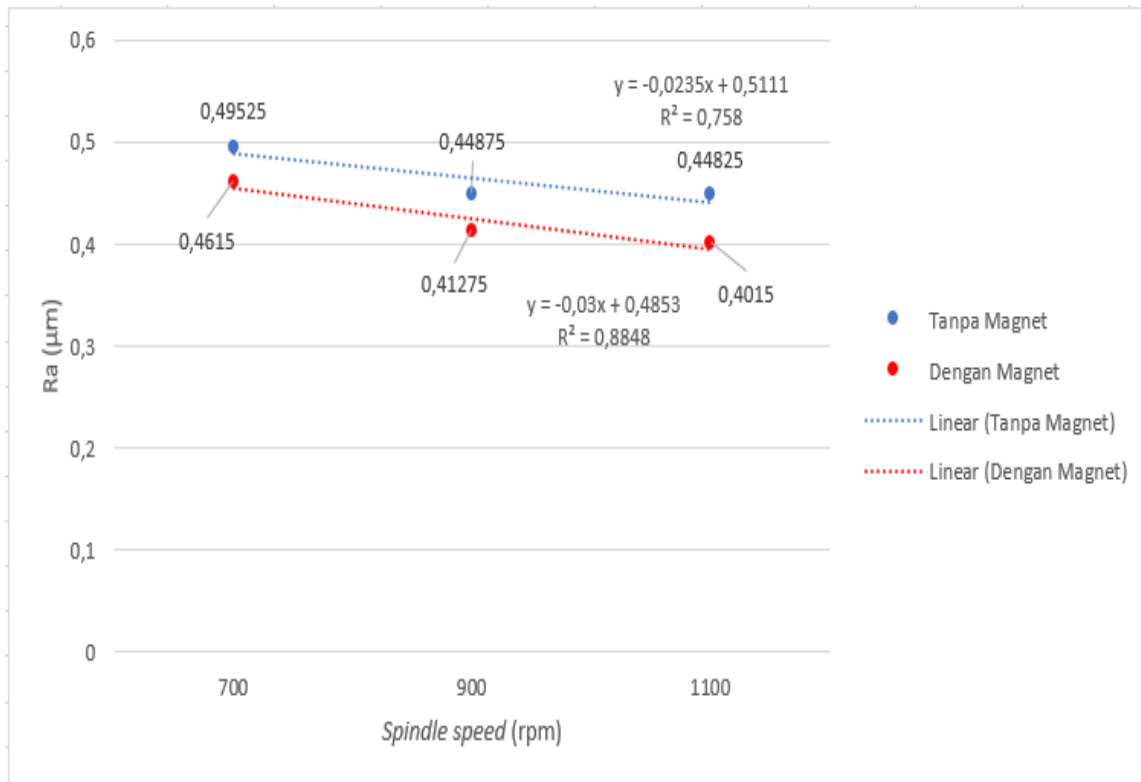
Setelah melakukan proses permesinan *end mill* menggunakan magnet dan tanpa magnet permanen dengan variasi *spindle speed* (700 ; 900 ;1100) hasil penelitian ini menggunakan mesin *milling* CNC TU-3A di Laboratorium Otomasi Manufaktur Universitas Brawijaya. Setelah dilakukan proses ini dilanjutkan dengan proses pengujian kekerasan permukaan benda kerja yang dilaksanakan di Laboratorium Metrologi Industri Universitas Brawijaya, hasil yang didapatkan adalah nilai kekasaran permukaan (Ra) benda kerja menggunakan *surface Roughness Tester*. Pada setiap benda kerja di ambil masing-masing empat sampel nilai kekasaran permukaan. Data kekeasaran permukaan dapat dilihat pada tabel 4.1 sebagai berikut :

Tabel 4.1
Data hasil kekasaran permukaan

No	<i>Spindle speed</i> (rpm)	Ra magnet (μm)	Rata-rata Ra (μm)	Ra tanpa magnet (μm)	Rata-rata Ra (μm)
1	700	0,465	0,4615	0,5	0,49525
2		0,46		0,498	
3		0,462		0,499	
4		0,459		0,484	
5	900	0,398	0,41275	0,439	0,44875
6		0,422		0,447	
7		0,432		0,465	
8		0,399		0,444	
9	1100	0,397	0,4015	0,41	0,44825
10		0,403		0,481	
11		0,398		0,418	
12		0,408		0,484	

4.2 Grafik dan Pembahasan

4.2.1 Grafik dan Pembahasan Pengaruh *Spindle Speed* terhadap Kekasaran Permukaan pada *End Milling* dengan Tanpa Menggunakan Magnet dan Menggunakan Magnet



Gambar 4.1 Grafik data pengaruh *spindle speed* terhadap kekasaran permukaan pada *end milling* dengan tanpa menggunakan magnet dan menggunakan magnet.

Pada gambar 4.1 menjelaskan hubungan variabel bebas *spindle speed* terhadap variabel terikat kekasaran permukaan (Ra) pada *end milling* dengan tanpa menggunakan magnet dan dengan menggunakan magnet. Sumbu X menunjukkan *spindle speed* dan sumbu Y menunjukkan kekasaran permukaan (Ra). Untuk titik dan garis berwarna merah adalah grafik hasil *end milling* dengan menggunakan magnet sedangkan yang berwarna biru adalah grafik hasil *end milling* dengan tanpa menggunakan magnet.

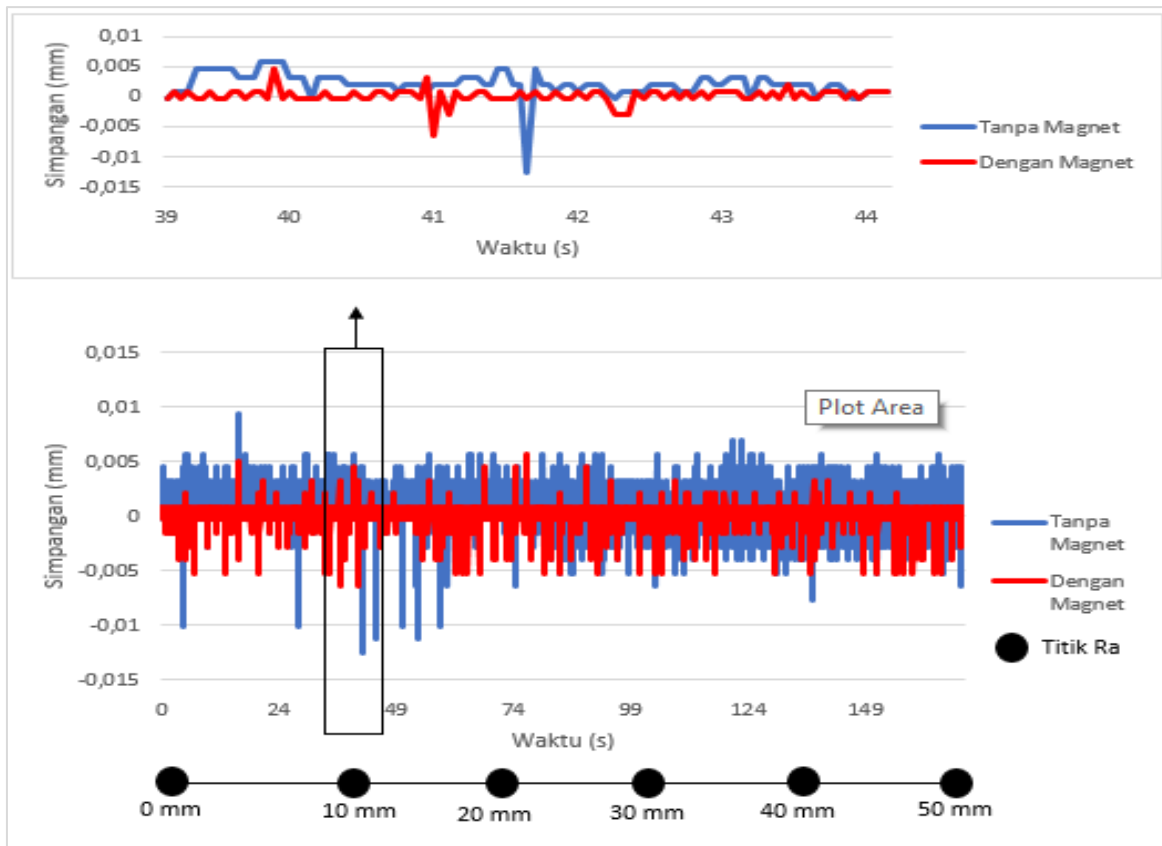
Pada grafik diatas menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai *spindle speed* digunakan, maka nilai kekasaran permukaan (Ra) yang dihasilkan akan semakin menurun. Nilai kekasaran permukaan terbesar terdapat pada *spindle speed* 700 rpm, dimana nilai Ra terbesar yang dihasilkan pada proses *end milling* tanpa menggunakan magnet adalah 0,49525 μm sedangkan nilai Ra terbesar yang dihasilkan pada proses *end milling* menggunakan magnet adalah 0,4615 μm . Sedangkan nilai Ra terendah yang dihasilkan pada proses *end milling*

tanpa menggunakan magnet adalah $0,44825 \mu\text{m}$ dan nilai Ra terendah yang dihasilkan pada proses *end milling* menggunakan magnet adalah $0,4015 \mu\text{m}$. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi *spindle speed* dengan *feedrate* yang konstan akan menurunkan nilai *feed* nya, *feedrate* memiliki hubungan berbanding lurus dengan kekasaran permukaan (Ra) sehingga nilai kekasarannya juga ikut turun.

Pada grafik di atas menunjukkan bahwa proses *end milling* dengan menggunakan magnet memiliki nilai kekasaran permukaan (Ra) yang lebih kecil daripada proses *end milling* tanpa menggunakan magnet. Penurunan yang terjadi pada nilai kekasaran permukaan (Ra) dengan menggunakan magnet dikarenakan adanya peredaman yang dihasilkan oleh medan magnet yang diletakkan di sekitar pahat (*magnetic damping*), sehingga getaran yang terjadi pada pahat akan berkurang yang dapat menyebabkan nilai kekasaran permukaan (Ra) benda kerja menurun.

4.2.2 Grafik dan Pembahasan Amplitudo Getaran pada *End Milling* Tanpa Menggunakan Magnet dan *End milling* dengan Menggunakan Magnet

Saat proses pemakanan berlangsung, dilakukan pengambilan data amplitudo menggunakan alat *vibration meter*. Pengambilan data ini digunakan agar dapat mengetahui getaran permesinan (*chatter*) yang terjadi pada saat proses pemakanan berlangsung serta mengetahui peran medan magnet untuk meredam *chatter*. *Chatter* inilah yang nantinya akan berpengaruh terhadap kekasaran permukaan benda kerja. Pengambilan data amplitudo dilakukan dengan bantuan *software* LabView 2013.



Gambar 4.2 Grafik simpangan getaran yang terjadi pada *spindle speed* 700 rpm pada proses *end milling* tanpa menggunakan magnet dan menggunakan magnet.

Gambar 4.2 di atas menunjukkan grafik amplitudo getaran yang terjadi saat proses pemakanan dengan *spindle speed* 700 rpm berlangsung. Sumbu x menunjukkan waktu pemakanan dan sumbu y menunjukkan amplitudo atau simpangan yang terjadi saat proses pemakanan (mm). Garis berwarna biru menunjukkan grafik proses *end milling* tanpa menggunakan magnet, sedangkan garis merah menunjukkan grafik *end milling* dengan menggunakan magnet. Grafik yang berada diatas tanda panah pada gambar 4.2 menunjukkan bagian dari grafik yang ada pada dalam kolom dimana terjadi simpangan maksimum pada saat proses *end milling* berlangsung.

Berdasarkan tabel 4.1 dapat diketahui nilai Ra tanpa menggunakan magnet yang tertinggi berada pada titik ke-1 yaitu sebesar $0,5 \mu\text{m}$, sedangkan nilai Ra dengan menggunakan magnet yang tertinggi berada pada titik ke-1 yaitu sebesar $0,465 \mu\text{m}$. Hal ini terlihat pada grafik yang berada diatas tanda panah pada gambar 4.2 menunjukkan bahwa simpangan maksimum yang terjadi juga berada pada titik ke-1.

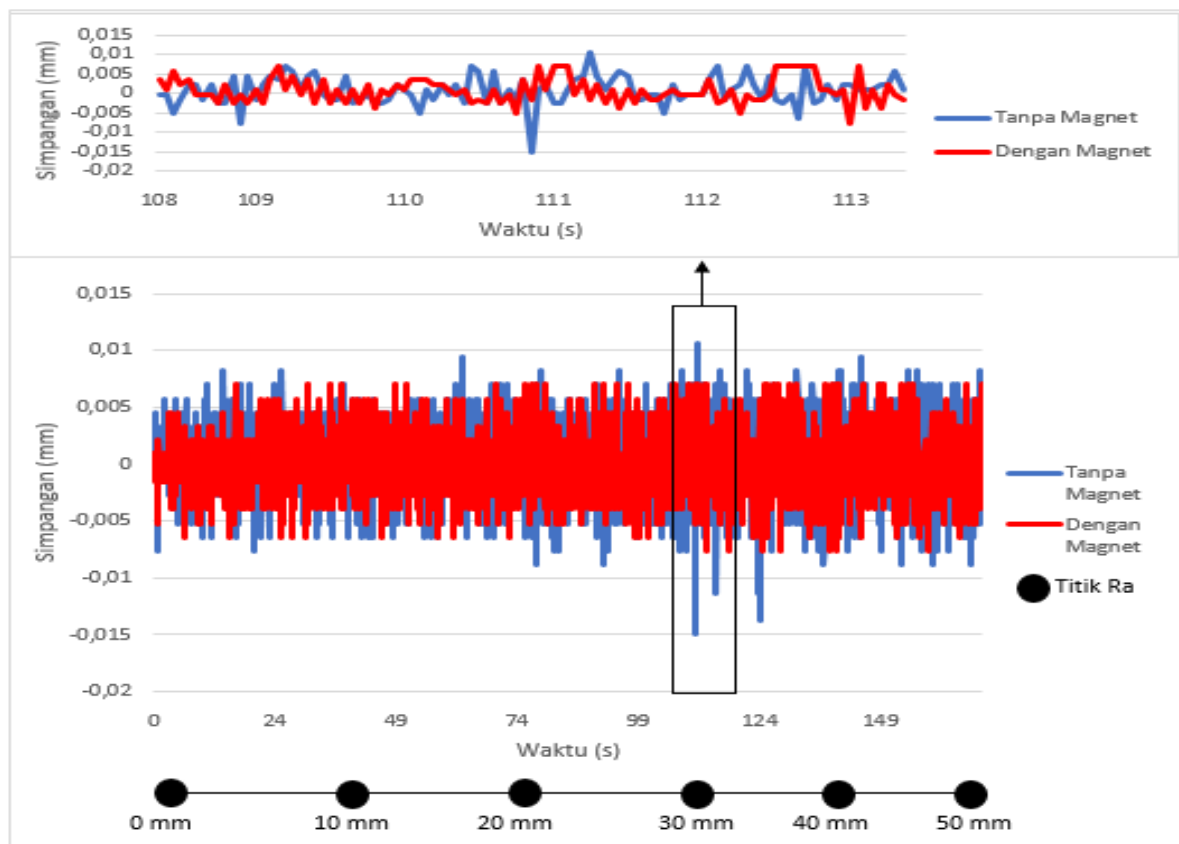
Dari gambar 4.2 di atas menunjukkan bahwa simpangan yang terjadi pada *end milling* tanpa menggunakan magnet lebih besar daripada menggunakan magnet. Nilai simpangan terbesar dari *end milling* tanpa menggunakan magnet adalah $0,01254 \text{ mm}$, sedangkan untuk

end milling dengan menggunakan magnet nilai simpangan yang terbesar adalah 0,00644 mm. Hal ini menunjukkan nilai simpangan maksimum dengan menggunakan magnet mengalami reduksi sebesar 48,65%.



Gambar 4.3 Foto mikro hasil proses *end milling* pada *spindle speed* 700 rpm (a) tanpa magnet (b) dengan magnet

Pada gambar 4.3 diatas menunjukkan hasil foto mikro hasil proses *end milling* pada *spindle speed* 700 rpm tanpa menggunakan magnet dan dengan menggunakan magnet. Dapat diketahui bahwa hasil foto mikro mikro hasil proses *end milling* pada *spindle speed* 700 rpm dengan menggunakan magnet lebih halus dibandingkan dengan tanpa menggunakan magnet.

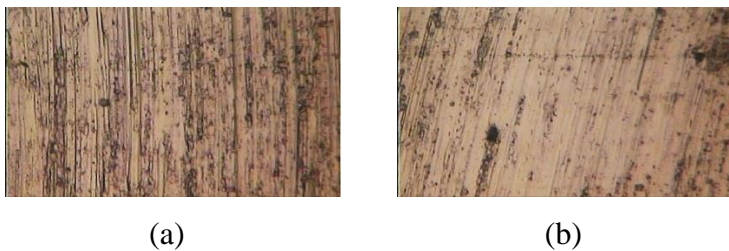


Gambar 4.4 Grafik simpangan getaran yang terjadi pada *spindle speed* 900 rpm pada proses *end milling* tanpa menggunakan magnet dan menggunakan magnet

Gambar 4.4 di atas menunjukkan grafik amplitudo getaran yang terjadi saat proses pemakanan dengan *spindle speed* 900 rpm berlangsung. Sumbu x menunjukkan waktu pemakanan dan sumbu y menunjukkan amplitudo atau simpangan yang terjadi saat proses pemakanan (mm). Garis berwarna biru menunjukkan grafik proses *end milling* tanpa menggunakan magnet, sedangkan garis merah menunjukkan grafik *end milling* dengan menggunakan magnet. Grafik yang berada diatas tanda panah pada gambar 4.4 menunjukkan bagian dari grafik yang ada pada dalam kolom dimana terjadi simpangan maksimum pada saat proses *end milling* berlangsung.

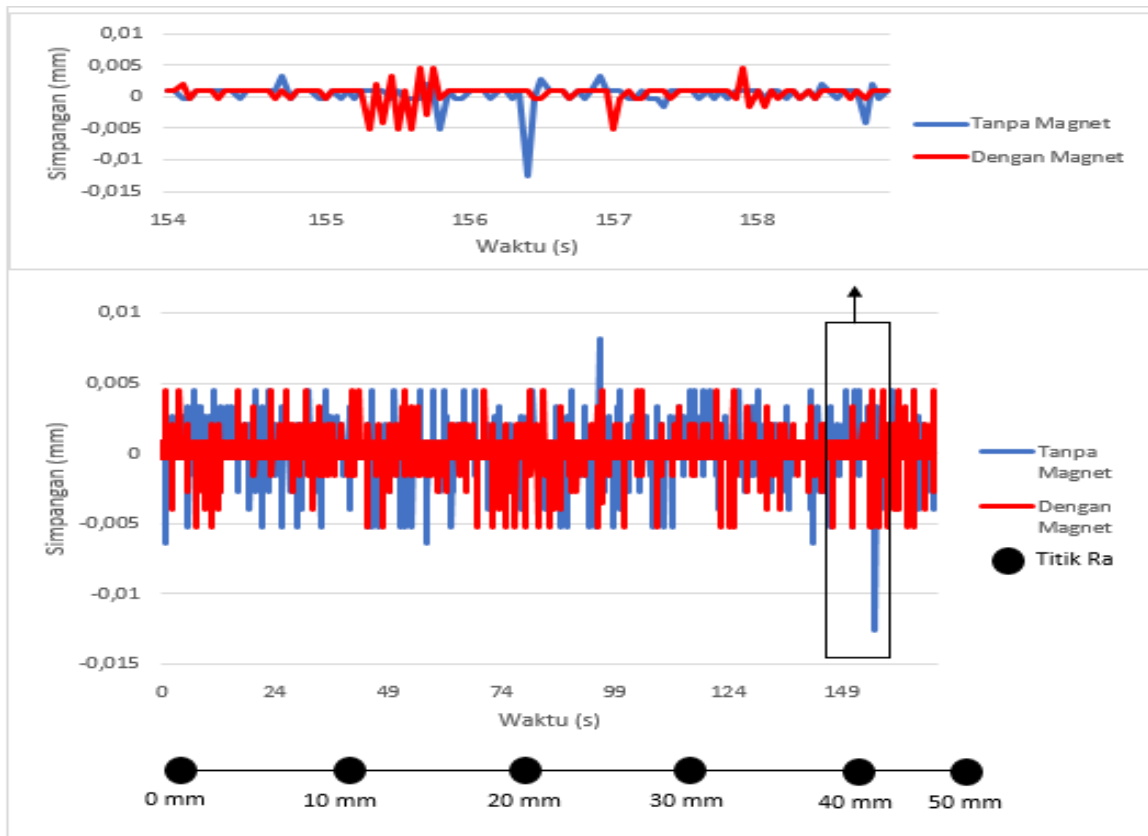
Berdasarkan tabel 4.1 dapat diketahui nilai Ra tanpa menggunakan magnet yang tertinggi berada pada titik ke-3 yaitu sebesar 0,465 μm , sedangkan nilai Ra dengan menggunakan magnet yang tertinggi berada pada titik ke-3 yaitu sebesar 0,432 μm . Hal ini terlihat pada grafik yang berada diatas tanda panah pada gambar 4.4 menunjukkan bahwa simpangan maksimum yang terjadi juga berada pada titik ke-3.

Dari gambar 4.4 di atas menunjukkan bahwa simpangan yang terjadi pada *end milling* tanpa menggunakan magnet lebih besar daripada menggunakan magnet. Nilai simpangan terbesar dari *end milling* tanpa menggunakan magnet adalah 0,01498 mm, sedangkan untuk *end milling* dengan menggunakan magnet nilai simpangan yang terbesar adalah 0,00766 mm. Hal ini menunjukkan nilai simpangan maksimum dengan menggunakan magnet mengalami reduksi sebesar 48,87%.



Gambar 4.5 Foto mikro hasil proses *end milling* pada *spindle speed* 900 rpm (a) tanpa magnet (b) dengan magnet

Pada gambar 4.5 diatas menunjukkan hasil foto mikro hasil proses *end milling* pada *spindle speed* 900 rpm tanpa menggunakan magnet dan dengan menggunakan magnet. Dapat diketahui bahwa hasil foto mikro mikro hasil proses *end milling* pada *spindle speed* 700 rpm dengan menggunakan magnet lebih halus dibandingkan dengan tanpa menggunakan magnet.



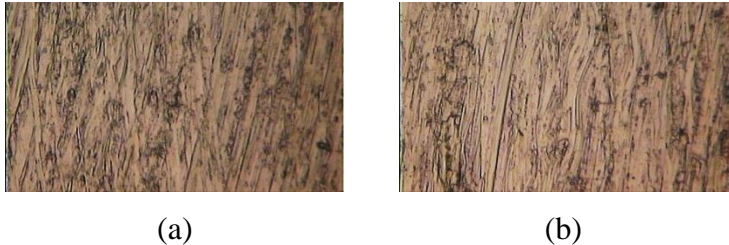
Gambar 4.6 Grafik simpangan getaran yang terjadi pada *spindle speed* 1100 rpm pada proses *end milling* tanpa menggunakan magnet dan menggunakan magnet

Gambar 4.6 di atas menunjukkan grafik amplitudo getaran yang terjadi saat proses pemakanan dengan *spindle speed* 1100 rpm berlangsung. Sumbu x menunjukkan waktu pemakanan dan sumbu y menunjukkan amplitudo atau simpangan yang terjadi saat proses pemakanan (mm). Garis berwarna biru menunjukkan grafik proses *end milling* tanpa menggunakan magnet, sedangkan garis merah menunjukkan grafik *end milling* dengan menggunakan magnet. Grafik yang berada diatas tanda panah pada gambar 4.6 menunjukkan bagian dari grafik yang ada pada dalam kolom dimana terjadi simpangan maksimum pada saat proses *end milling* berlangsung.

Berdasarkan tabel 4.1 dapat diketahui nilai Ra tanpa menggunakan magnet yang tertinggi berada pada titik ke-4 yaitu sebesar $0,408 \mu\text{m}$, sedangkan nilai Ra dengan menggunakan magnet yang tertinggi berada pada titik ke-4 yaitu sebesar $0,484 \mu\text{m}$. Hal ini terlihat pada grafik yang berada diatas tanda panah pada gambar 4.5 menunjukkan bahwa simpangan maksimum yang terjadi juga berada pada titik ke-4.

Dari gambar 4.6 di atas menunjukkan bahwa simpangan yang terjadi pada *end milling* tanpa menggunakan magnet lebih besar daripada menggunakan magnet. Nilai simpangan terbesar dari *end milling* tanpa menggunakan magnet adalah $0,01254 \text{ mm}$, sedangkan untuk

end milling dengan menggunakan magnet nilai simpangan yang terbesar adalah 0,00522 mm. Hal ini menunjukkan nilai simpangan maksimum dengan menggunakan magnet mengalami reduksi sebesar 58,38%.



Gambar 4.7 Foto mikro hasil proses *end milling* pada *spindle speed* 1100 rpm (a) tanpa magnet (b) dengan magnet

Pada gambar 4.7 diatas menunjukkan hasil foto mikro hasil proses *end milling* pada *spindle speed* 1100 rpm tanpa menggunakan magnet dan dengan menggunakan magnet. Dapat diketahui bahwa hasil foto mikro mikro hasil proses *end milling* pada *spindle speed* 700 rpm dengan menggunakan magnet lebih halus dibandingkan dengan tanpa menggunakan magnet.

Pada ketiga gambar 4.2, 4.4, 4.6 grafik nilai amplitudo diatas berdasarkan variabel bebas yaitu *spindle speed*. Gambar 4.6 dengan nilai *spindle speed* 1100 rpm memiliki nilai simpangan paling kecil dengan tanpa menggunakan medan magnet maupun dengan menggunakan medan magnet. Hal ini dikarenakan gaya pemotongan yang terjadi pada proses pemakanan lebih kecil dibandingkan dengan yang lain. Hal ini sebagaimana ditunjukkan pada persamaan 4-8 berikut:

$$a_c = \frac{F}{N \cdot n} \dots\dots\dots(4-8)$$

$$A_c = b \cdot a_c$$

$$F_c = \frac{\tau_s \cdot A_c \cdot \cos(\beta - \gamma_{ne})}{\sin \phi \cdot \cos(\phi + \beta - \gamma_{ne})} \dots\dots\dots(4-9)$$

Nilai b dan a_c merupakan luas bidang geram (A_c) yang dihasilkan dari proses pemakanan. Jika *spindle speed* besar, maka nilai luas bidang geram (A_c) akan semakin menurun. Dari persamaan (4-2) dapat kita ketahui bahwa gaya pemotongan F_c berbanding lurus dengan luas bidang geram. sehingga semakin besar *spindle speed*, 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 (4-3) berikut :

$$a_v = \frac{F_c}{\sqrt{4.c_c^2.\omega_f^2 + (\omega_n^2 - \omega_f^2)^2}} \dots\dots\dots(4-10)$$

Dimana :

a_v = Amplitudo getaran

F_c = Gaya pemotongan

Dari persamaan (4-3) didapatkan bahwa gaya pemotongan berbanding lurus dengan amplitudo, sehingga semakin kecil gaya pemotongan, maka amplitudo juga akan menurun, yang menyebabkan getaran pada pahat akan menurun, dan membuat permukaan benda kerja akan menjadi lebih halus.

Dari ketiga gambar 4.2, 4.4, 4.6 diatas menunjukkan bahwa adanya pengaruh penggunaan magnet yang menghasilkan medan magnet saat proses pemakanan dapat meredam getaran atau *chatter* yang terjadi. Hal ini dikarenakan adanya pengaruh *magnetic damping* yang terjadi pada pahat. Seperti yang telah dijelaskan pada bab 2, *magnetic damping* terjadi akibat adanya konduktor (pahat) yang bergerak secara relatif pada sebuah medan magnet yang menimbulkan arus *eddy* dan akan membentuk gaya tolak menolak terhadap medan magnet yang ada disekitar. *Eddy current* yang terjadi akan menginduksi medan magnet yang timbul dari magnet permanen, sehingga dapat menghasilkan gaya yang dapat menahan pahat agar tetap pada posisinya.

Dari ketiga gambar 4.2, 4.4, 4.6 juga dapat kita lihat, nilai amplitudo mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya nilai *spindle speed*. Sehingga *magnetic damping* yang terjadi dapat menurunkan nilai amplitudo yang dihasilkan beserta nilai kekasarannya, dimana dapat disimpulkan bahwa penggunaan medan magnet dapat meredam getaran yang terjadi pada proses *end milling* sehingga bisa mereduksi nilai kekasaran permukaan.