

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Setelah dilakukan proses permesinan *slot milling* tanpa dan dengan medan magnet dengan variasi *spindle speed* 2400, 2600, dan 2800 rpm, dilakukan pengujian kekasaran permukaan benda kerja yang bertempat di Laboratorium Metrologi Industri Universitas Brawijaya. Alat yang digunakan dalam mengukur kekasaran permukaan (Ra) adalah *Surface Roughness Tester* SJ-301. Setiap benda kerja dibagi atas 5 segmen untuk dijadikan sampel nilai kekasaran permukaan. Data kekasaran yang didapat dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1
Hasil Penelitian Nilai Kekasaran Permukaan (Ra)

No	<i>Spindle Speed</i> [N] (rpm)	Ra tanpa Magnet (μm)	Rata-rata Ra (μm)	Ra dengan magnet (μm)	Rata-rata Ra (μm)
1	2400	0,643	0,587	0,432	0,450
2		0,415		0,542	
3		0,624		0,412	
4		0,764		0,432	
5		0,819		0,432	
1	2600	0,564	0,545	0,391	0,375
2		0,496		0,341	
3		0,489		0,391	
4		0,446		0,373	
5		0,731		0,381	
1	2800	0,511	0,412	0,321	0,332
2		0,445		0,323	
3		0,333		0,304	
4		0,386		0,358	
5		0,384		0,353	

4.2 Analisis Data Model Regresi Linear

Analisis data model regresi linear dipergunakan untuk mengetahui pengaruh antara satu atau beberapa variabel terhadap satu buah variabel melalui persamaan linear. Variabel yang mempengaruhi disebut dengan variabel bebas, pada penelitian ini yaitu *spindle speed* dan variabel yang dipengaruhi adalah variabel terikat, yaitu kekasaran permukaan (R_a). Bentuk sederhana dari persamaan linear adalah sebagai berikut

$$Y_i = \alpha + \beta X_i \dots\dots\dots(4-1)$$

keterangan:

- Y_i = Variabel terikat
- X_i = Variabel bebas
- β = Eksponen variabel
- α = Konstanta

Sumber : Benoit (2011, p.1)

Kekasaran permukaan (R_a) sebagai variabel terikat dipengaruhi oleh *spindle speed* (n), *feed rate* (V_f), dan *axial depth of cut* (a_p). Qehaja et al. (2015), Sahin dan Motorcu (2004) memodelkan fungsi R_a sebagai persamaan non-linear yang memiliki bentuk seperti berikut

$$R_a = N^{\beta_1} \cdot v_f^{\beta_2} \cdot a_p^{\beta_3} \cdot C$$

dengan $\beta_{1,2,3}$ adalah eksponen masing-masing variabel dan C adalah konstanta. Karena persamaan di atas memiliki sifat non-linear sehingga diperlukan transformasi logaritma untuk memenuhi persamaan 4-1, maka persamaan menjadi

$$\log R_a = \beta_1 \log N + \beta_2 \log v_f + \beta_3 \log a_p + \log C$$

Dikarenakan *Feed rate* (V_f) dan *axial depth of cut* (a_p) berperan sebagai variabel terkontrol pada penelitian ini sehingga dapat dianggap konstan sesuai pada persamaan berikut

$$\log C + \beta_2 \log v_f + \beta_3 \log a_p = \text{konstan} = \alpha$$

maka

$$\log R_a = \beta_1 \log N + \alpha$$

Untuk mempermudah analisis data model regresi linear, persamaan diatas disubstitusikan menjadi



$$Y = \beta_1 X + \alpha$$

dimana:

$$Y = \log R_a$$

$$X = \log n$$

4.2.1 Analisis Data Model Regresi Linear Variabel Bebas *Spindle Speed* terhadap Variabel Terikat Kekasaran Permukaan (R_a) tanpa Medan Magnet

Tabel 4.2

Data Korelasi Proses tanpa Pengaplikasian Medan Magnet

r_{xy}	β_1	α
-0,689	-2,881	9,549

Tabel 4.2 menunjukkan koefisien korelasi (r_{xy}) memiliki nilai -0,689. Hasil data di atas mengindikasikan bahwa hubungan variabel *spindle speed* pada proses permesinan tanpa medan magnet terhadap kekasaran permukaan (R_a) adalah sebesar 68,9%. Sehingga persamaan linear yang dapat dibentuk berdasarkan data di tabel 4.2 adalah

$$Y = -2,881 X + 9,549$$

Persamaan linear di atas disubstitusikan kembali ke persamaan aslinya menjadi

$$\log R_a = -2,881 \log N + 9,549$$

$$R_a = N^{-2,881} \cdot 35419557234$$

Tabel 4.3

Data Determinasi Proses tanpa Pengaplikasian Medan Magnet

No	Sumber	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah	F_{hitung}	F_{tabel}	R^2
1	Model	0,093	1	0,093			
2	Error	0,104	13	0,008	11,737	4,67	0,4745
3	Total	0,196	14	0,014			

Sesuai dengan data di Tabel 4.3, nilai F_{hitung} yang lebih besar daripada F_{tabel} . Hal ini menunjukkan bahwa persamaan regresi linear memiliki pengaruh yang signifikan terhadap data kekasaran permukaan (R_a). Nilai R^2 pada tabel menunjukkan kesesuaian model persamaan linear variabel bebas *spindle speed* dengan rentang nilai 2400 – 2600 rpm terhadap kekasaran permukaan (R_a) pada proses permesinan tanpa medan magnet sebesar 47,45 %.

4.2.2 Analisis Data Model Regresi Linear Variabel Bebas *Spindle Speed* terhadap Variabel Terikat Kekasaran Permukaan (Ra) dengan Medan Magnet

Tabel 4.4
Data Korelasi Proses dengan Pengaplikasian Medan Magnet

r_{xy}	β_1	α
-0,86	-1,961	6,275

Tabel 4.4 menunjukkan koefisien korelasi (r_{xy}) memiliki nilai -0,86. Hasil data di atas mengindikasikan bahwa hubungan variabel *spindle speed* pada proses permesinan tanpa medan magnet terhadap *surface roughness* (Ra) adalah sebesar 86%. Sehingga persamaan linear yang dapat dibentuk berdasarkan data di tabel 4.2 adalah

$$Y = -1,961 X + 6,275$$

Persamaan linear di atas disubstitusikan kembali ke persamaan aslinya menjadi

$$\log Ra = -1,961 \log N + 6,275$$

$$Ra = N^{-1,961} \cdot 1885173,378$$

Tabel 4.5
Data Determinasi Proses dengan Pengaplikasian Medan Magnet

No	Sumber	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah	F_{hitung}	F_{tabel}	R^2
1	Model	0,043	1	0,043			
2	Error	0,015	13	0,001	36,851	4,67	0,7392
3	Total	0,058	14	0,004			

Sesuai dengan data di Tabel 4.5, nilai F_{hitung} yang lebih besar daripada F_{tabel} . Hal ini menunjukkan bahwa persamaan regresi linear memiliki pengaruh yang signifikan terhadap data kekasaran permukaan (Ra). Nilai R^2 pada tabel menunjukkan kesesuaian model persamaan linear variabel bebas *spindle speed* dengan rentang nilai 2400 – 2600 rpm terhadap kekasaran permukaan (Ra) pada proses permesinan tanpa medan magnet sebesar 73,92%.

4.3 Uji T

Pada pembahasan penelitian ini, uji T dilakukan untuk mengetahui pengaruh proses permesinan dengan dan tanpa medan magnet. Uji T dilakukan pada setiap parameter permesinan *spindle speed* yang digunakan pada penelitian ini, yaitu 2400, 2600, dan 2800 rpm

Untuk dapat memulai Uji T, perlu adanya penentuan hipotesis awal (H_0) dan hipotesis alternatif (H_a), dimana kedua hipotesis tersebut dalam penelitian ini adalah

- H_0 , yaitu nilai R_a (μm) dengan magnet $>$ daripada nilai R_a (μm) tanpa magnet.
- H_a , yaitu nilai R_a (μm) dengan magnet $<$ daripada nilai R_a (μm) tanpa magnet.

Hipotesis H_0 dapat ditolak dan H_a dapat diterima jika nilai T_{hitung} lebih kecil daripada $-T_{\alpha}$ dengan tingkat signifikansi 95%. Sebaliknya, hipotesis H_0 dapat diterima dan H_a dapat ditolak jika nilai T_{hitung} lebih besar daripada $-T_{\alpha}$ dengan tingkat signifikansi yang sama. Ditolaknya H_0 artinya penentuan proses permesinan dengan pengaplikasian medan magnet menghasilkan nilai R_a yang lebih kecil.

4.3.1 Uji T Variabel *Spindle Speed* 2400 rpm

Tabel 4.6

Data Uji T variabel *Spindle Speed* 2400 rpm tanpa (X_1) dan dengan (X_2) Magnet

Avg. X_1	Avg. X_2	Avg. X_2 - Avg. X_1	T_{hitung}	$-T_{\alpha}$
0,653	0,45	-0,203	-2,758	-1,86

Berdasarkan uji T yang didapat, $T_{\text{(hitung)}}$ yang lebih kecil dari $-T_{\alpha}$ dengan tingkat signifikansi 95%. Hipotesis H_0 ditolak dan hipotesis H_1 diterima, Hal ini menunjukkan bahwa proses permesinan pada *spindle speed* 2400 rpm dengan pengaplikasian medan magnet menghasilkan nilai R_a yang lebih kecil

4.3.2 Uji T Variabel *Spindle Speed* 2600 rpm

Tabel 4.7

Data Uji T variabel *Spindle Speed* 2600 rpm tanpa (X_1) dan dengan (X_2) Magnet

Avg. X_1	Avg. X_2	Avg. X_2 - Avg. X_1	T_{hitung}	$-T_{\alpha}$
0,731	0,381	-0,35	-5,54	-1,86

Berdasarkan uji T yang didapat, $T_{\text{(hitung)}}$ yang lebih kecil dari $-T_{\alpha}$ dengan tingkat signifikansi 95%. Hipotesis H_0 ditolak dan hipotesis H_1 diterima, Hal ini menunjukkan

bahwa proses permesinan pada *spindle speed* 2600 rpm dengan pengaplikasian medan magnet menghasilkan nilai R_a yang lebih kecil.

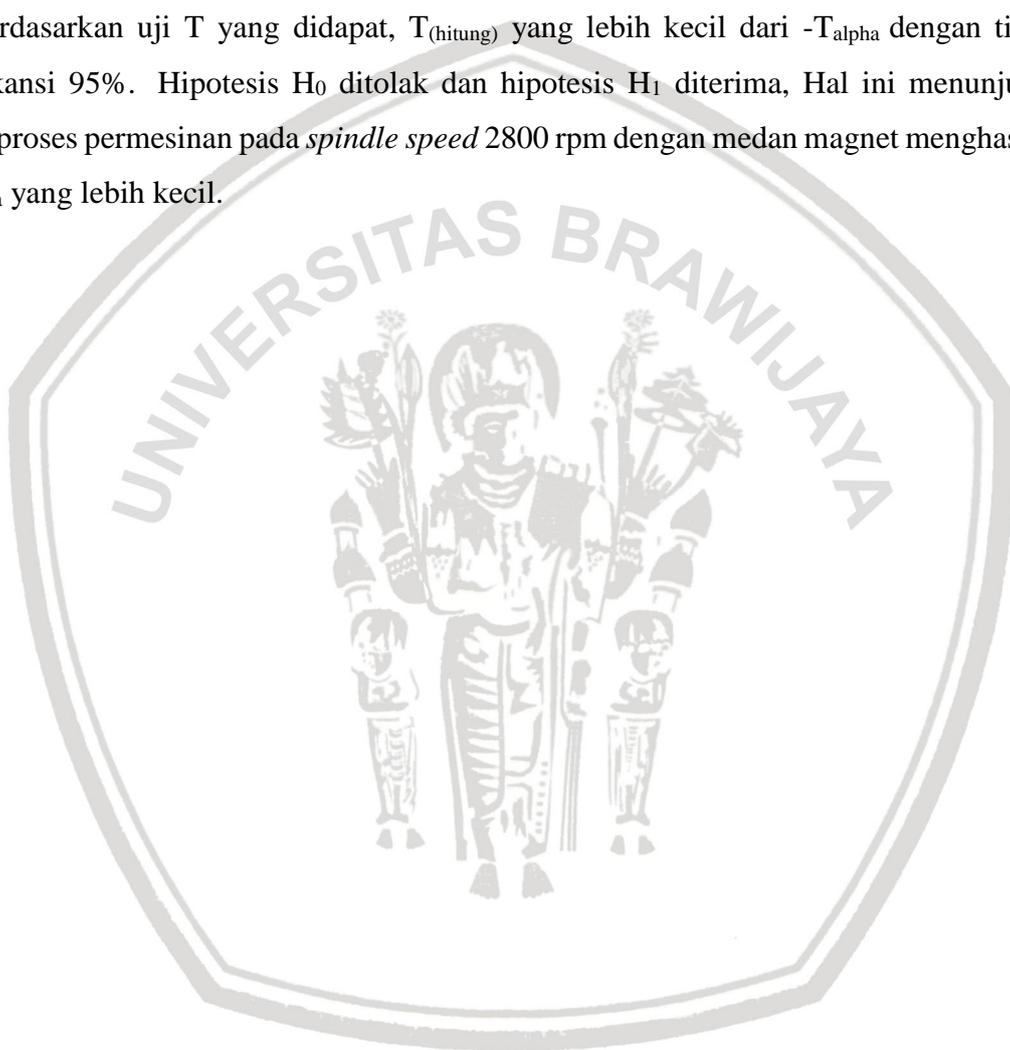
4.3.3 Uji T Variabel *Spindle Speed* 2800 rpm

Tabel 4.8

Data Uji T variabel *Spindle Speed* 2800 rpm tanpa (X_1) dan dengan (X_2) Magnet

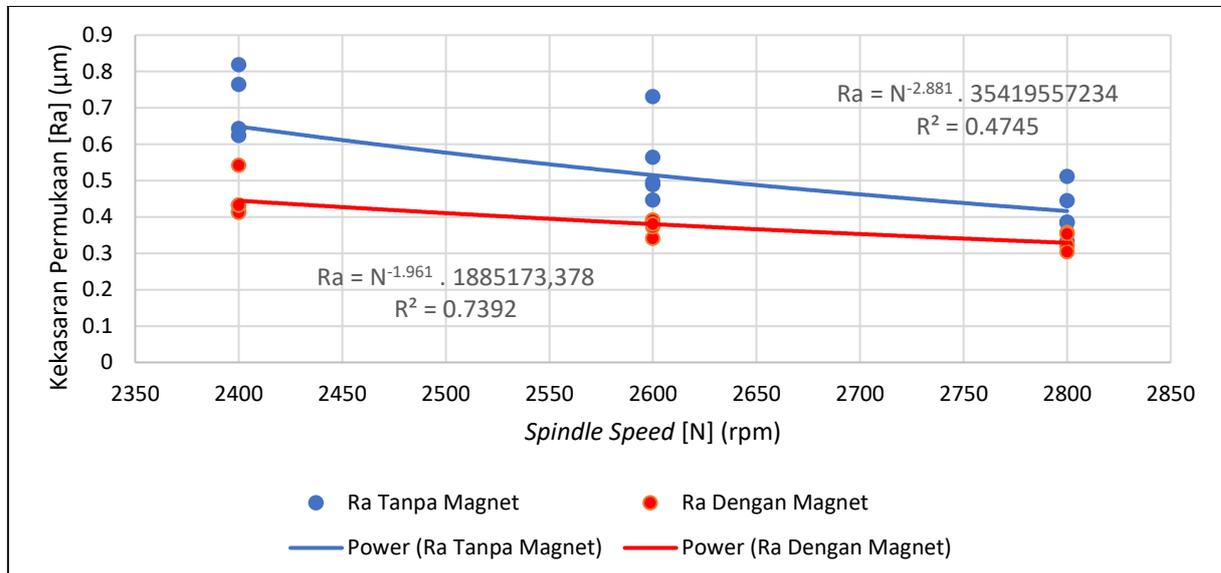
Avg. X_1	Avg. X_2	Avg. X_2 - Avg. X_1	T_{hitung}	$-T_{alpha}$
0,497	0,353	-0,144	-2,14	-1,86

Berdasarkan uji T yang didapat, $T_{(hitung)}$ yang lebih kecil dari $-T_{alpha}$ dengan tingkat signifikansi 95%. Hipotesis H_0 ditolak dan hipotesis H_1 diterima, Hal ini menunjukkan bahwa proses permesinan pada *spindle speed* 2800 rpm dengan medan magnet menghasilkan nilai R_a yang lebih kecil.



4.4 Grafik dan Pembahasan

4.4.1 Grafik dan Pembahasan Pengaruh *Spindle Speed* terhadap Kekasaran Permukaan pada Proses *Slot Milling* tanpa dan menggunakan Medan Magnet



Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Variasi Nilai *Spindle Speed* dan Pengaplikasian Medan Magnet terhadap Kekasaran Permukaan

Berdasarkan grafik yang terdapat pada Gambar 4.1, dapat diketahui bahwa sumbu X pada grafik merepresentasikan variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini yaitu *spindle speed* dengan satuan *revolution per minute* (rpm) dan sumbu Y pada grafik merepresentasikan variabel terikat yang digunakan pada penelitian ini yaitu kekasaran permukaan dengan satuan μm . Titik berwarna biru melambangkan nilai kekasaran permukaan untuk *spindle speed* tertentu pada proses *slot milling* tanpa medan magnet dan garis biru merupakan garis hasil persamaan regresi linear dari data yang diolah, sedangkan titik merah dan garis merah merepresentasikan nilai kekasaran permukaan untuk *spindle speed* tertentu pada proses *slot milling* dengan magnet dan hasil persamaan regresi linear dari data yang diolah secara berturut-turut.

Sesuai dengan data yang didapat, pada Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa proses *Slot Milling* dengan medan magnet menghasilkan nilai kekasaran permukaan (R_a) yang lebih rendah dibandingkan dengan tanpa medan magnet dibuktikan dengan letak garis berwarna hijau (R_a dengan magnet) berada di bawah garis berwarna biru (R_a tanpa magnet). Selain itu, nilai *spindle speed* yang semakin meningkat turut berperan dalam menurunkan nilai kekasaran permukaan. Proses *slot milling* tanpa medan magnet dengan nilai *spindle speed*

2400 rpm; 2600 rpm; dan 2800 rpm secara berturut-turut menghasilkan nilai kekasaran rata-rata (Ra) sebesar 0,587 μm ; 0,545 μm ; dan 0,412 μm sedangkan proses *slot milling* dengan medan magnet dengan nilai *spindle speed* yang sama menghasilkan nilai Ra sebesar 0,450 μm ; 0,375 μm ; dan 0,332 μm .

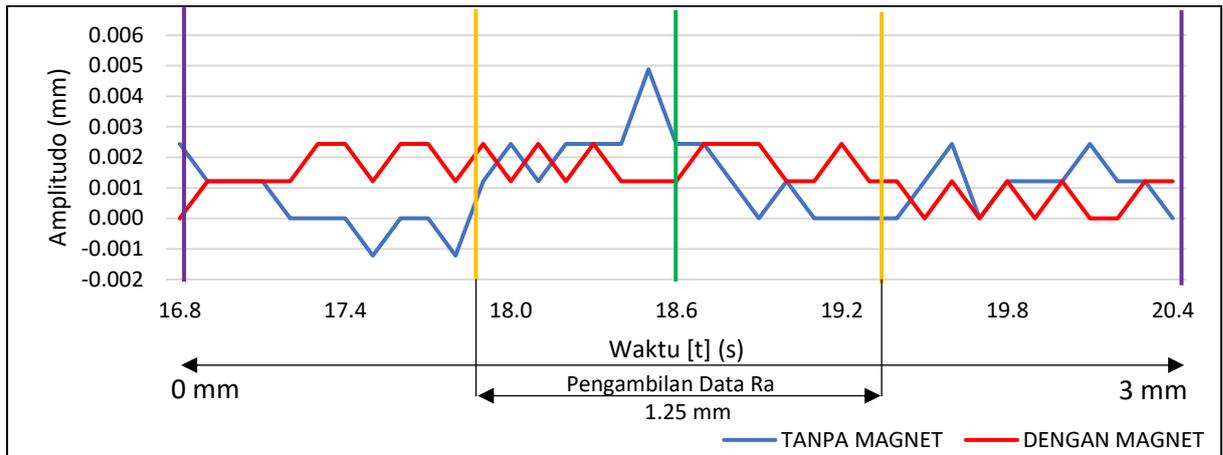
Hal ini memenuhi Persamaan 2-4 dan 2-5 yang menjelaskan hubungan antara Ra dengan *spindle speed* yang berbanding terbalik. *Spindle speed* yang rendah akan menghasilkan nilai Ra yang tinggi, begitu juga sebaliknya. Fenomena penurunan nilai kekasaran ini juga didukung oleh persamaan lainnya yaitu Persamaan 2-3 dimana nilai *material removal rate* dipengaruhi oleh *feed rate* yang terbentuk atas hasil kali nilai *feed per tooth*, jumlah sudu pahat, dan *spindle speed*. Semakin tinggi *spindle speed* artinya putaran yang dilakukan oleh pahat saat proses permesinan lebih banyak sehingga *chip*/geram hasil pemakanan makin cepat terbentuk memudahkan mata pahat selanjutnya dalam melakukan pemakanan.

Sesuai dengan apa yang sudah dijabarkan pada tinjauan pustaka, medan magnet yang dalam konteks ini berfungsi sebagai peredam getaran berperan penting dalam fenomena penurunan nilai kekasaran suatu permukaan. Hal ini dikarenakan gaya tolak menolak (*repulsive force*) yang berasal dari magnet permanen identik dipasang di samping kiri dan kanan pahat menghasilkan induksi magnetik yang mengalir di sekitar pahat potong memaksa pahat tersebut tetap berada di titik keseimbangannya. Posisi pahat yang setimbang menyebabkan pahat tidak menerima beban yang terlalu besar ketika melakukan kontak dengan *workpiece* sehingga *cutting force* dapat diminimalisasi yang berujung pada menurunnya nilai kekasaran permukaan.

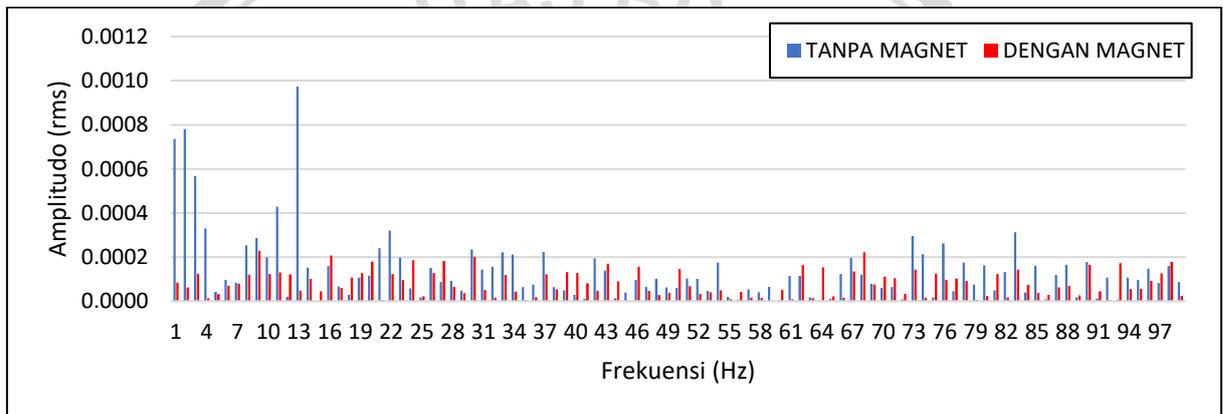
4.4.2 Grafik dan Pembahasan Amplitudo pada proses *Slot Milling* tanpa dan dengan Medan Magnet

Selama proses pemakanan pada benda kerja, dilakukan juga pengambilan data Amplitudo dengan bantuan *software* National Instruments LabView MyRio 2013. Tujuan dari pengambilan data Amplitudo ini adalah untuk mengetahui secara khusus fenomena *chatter* yang terjadi selama proses pemakanan serta peran dari medan magnet dalam mengurangi *chatter* dikarenakan *chatter* berpengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan.

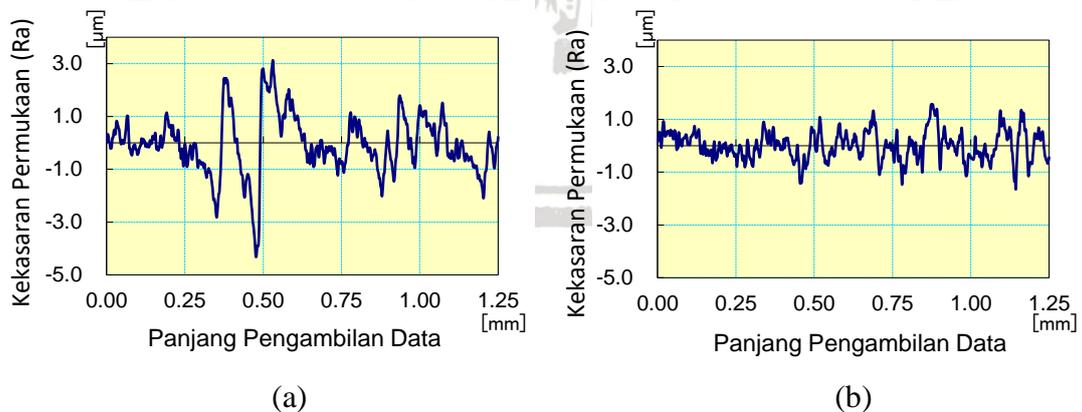
4.4.2.1 Proses Pemakanan dengan *Spindle Speed* 2400 rpm



Gambar 4.2 Data Amplitudo pada Proses *Slot Milling* dengan *Spindle Speed* 2400 rpm tanpa dan dengan Medan Magnet



Gambar 4.3 Data *Spectrum Frequency* pada Proses *Slot Milling* dengan *Spindle Speed* 2400 rpm tanpa dan dengan Medan Magnet pada $t = 18,6$ detik



Gambar 4.4 Data Kekasaran Permukaan Proses Pemakanan dengan *Spindle Speed* 2400 rpm tanpa (a) dan dengan (b) Medan Magnet



Penelitian untuk proses pemakanan dengan *spindle speed* 2400 rpm menghasilkan grafik yang terdapat pada Gambar 4.2, Gambar 4.3, dan Gambar 4.4. Gambar 4.2 menjelaskan nilai Amplitudo pada selang waktu permesinan $t = 16,8 - 20,4$ detik. Pada $t = 18,6$ detik diambil sampel data *spectrum frequency* yang dihasilkan pada kedua proses permesinan sesuai pada Gambar 4.3 serta pengujian kekasaran permukaan seperti yang tertera pada Gambar 4.4.

Selama operasi permesinan, terjadi dua macam getaran, yaitu resonansi dan *regenerative chatter*. Melalui percobaan *dry run* kita dapat mengetahui nilai frekuensi natural dari *spindle* yaitu sebesar 1 Hz, dan jika dibandingkan dengan frekuensi eksitasinya didapat nilai yang tidak bulat sehingga fenomena getaran yang terjadi pada segmen ini yaitu segmen 5 ($16,8 \leq t \leq 20,4$) adalah *regenerative chatter*. Fenomena *regenerative chatter* dapat terjadi akibat adanya ketidakstabilan pahat potong ketika melakukan proses permesinan. Salah satu faktor yang menyebabkan ketidakstabilan pahat untuk tetap berada di titik seimbangnya adalah *cutting force*. *Cutting force* yang fluktuatif mempengaruhi besarnya nilai Amplitudo.

Dapat dilihat pada Gambar 4.2 yaitu proses *slot milling* dengan parameter *spindle speed* 2400 rpm, proses pemakanan tanpa medan magnet menghasilkan nilai Amplitudo cenderung tidak beraturan dibandingkan dengan proses pemakanan dengan medan magnet. Hal ini ditunjukkan pada segmen 5, nilai *root mean square* (rms) Amplitudo pemakanan tanpa medan magnet sebesar 0,0017 mm dan dengan medan magnet sebesar 0,0016 mm.

Berdasarkan Gambar 4.3, fenomena *regenerative chatter* pada nilai Amplitudo tertinggi pada grafik, yaitu pada frekuensi 13 Hz diketahui melalui proses pemakanan tanpa medan magnet. Proses pemakanan dengan medan magnet menghasilkan Amplitudo yang lebih rendah pada setiap frekuensinya. Sesuai dengan penjelasan pada Persamaan 2-9 dan 2-10, *repulsive force* dari magnet permanen yang berperan dalam meredam getaran dapat menjaga pahat potong untuk berada pada titik keseimbangannya sehingga fenomena *regenerative chatter* dapat diminimalisasi. Teredamnya getaran diikuti dengan penekanan fenomena *regenerative chatter* menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih rendah pada segmen yang sama dengan nilai kekasaran rata-rata (R_a) tanpa dan dengan medan magnet secara berturut-berturut sebesar $0,819 \mu\text{m}$ dan $0,432 \mu\text{m}$ dengan presentase reduksi sebesar 47,253%. Hasil pada sampel lainnya dapat dilihat di Tabel 4.9 dan 4.10 berikut.

Tabel 4.9

Rentang Waktu Pengambilan Data Amplitudo dan Kekasaran Permukaan (Ra) tanpa Medan Magnet dengan *Spindle Speed* 2400 rpm

Segmen	Selang Waktu (menit : detik)	Amplitudo (rms)	Kekasaran Permukaan (μm)
Segmen 1	00:02,4 - 00:06,0	0,0024	0,643
Segmen 2	00:06,0 - 00:09,6	0,0018	0,415
Segmen 3	00:09,6 - 00:13,2	0,0016	0,624
Segmen 4	00:13,2 - 00:16,8	0,0016	0,764
Segmen 5	00:16,8 - 00:20,4	0,0017	0,819
Rata-rata		0,0019	0,587

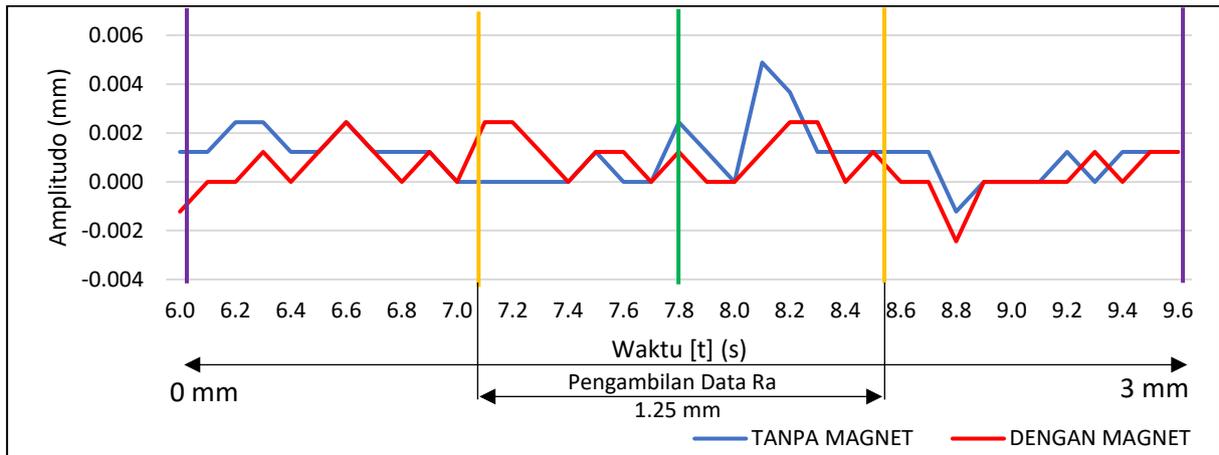
Tabel 4.10

Rentang Waktu Pengambilan Data Amplitudo dan Kekasaran Permukaan (Ra) dengan Medan Magnet dengan *Spindle Speed* 2400 rpm

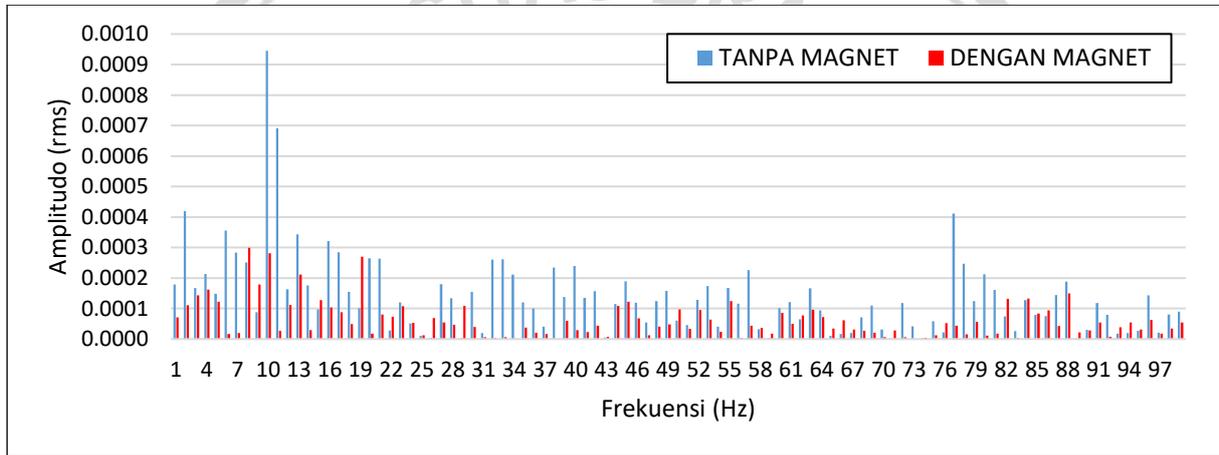
Segmen	Selang Waktu (menit : detik)	Amplitudo (rms)	Kekasaran Permukaan (μm)
Segmen 1	00:02,4 - 00:06,0	0,0015	0,432
Segmen 2	00:06,0 - 00:09,6	0,0012	0,542
Segmen 3	00:09,6 - 00:13,2	0,0017	0,412
Segmen 4	00:13,2 - 00:16,8	0,0014	0,432
Segmen 5	00:16,8 - 00:20,4	0,0016	0,432
Rata-rata		0,0015	0,450

Berdasarkan Tabel 4.9 dan 4.10, maka dapat disimpulkan bahwa pengaplikasian medan magnet pada proses *slot milling* dengan *spindle speed* sebesar 2400 rpm menghasilkan reduksi nilai rms Amplitudo dan kekasaran permukaan yang cukup signifikan.

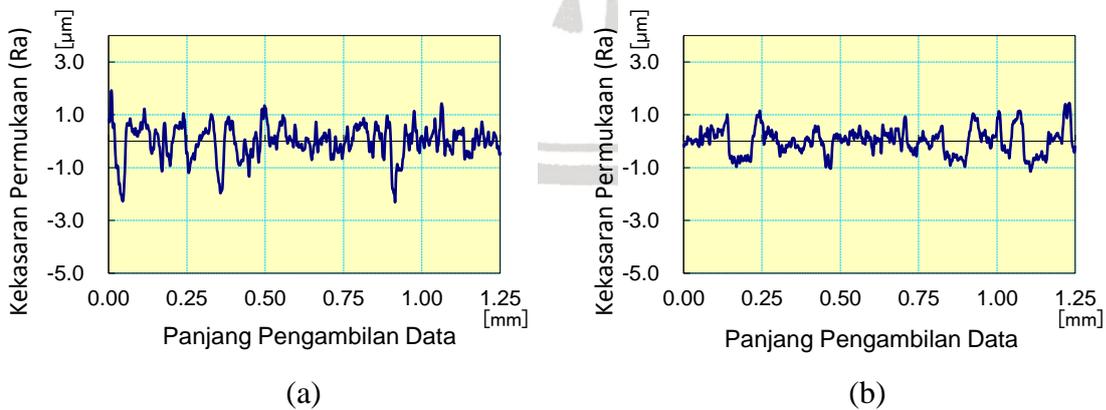
4.4.2.2 Proses Pemakanan dengan Spindle Speed 2600 rpm



Gambar 4.5 Data Amplitudo pada Proses Slot Milling dengan Spindle Speed 2600 rpm tanpa dan dengan Medan Magnet



Gambar 4.6 Data Spectrum Frequency pada Proses Slot Milling dengan Spindle Speed 2600 rpm tanpa dan dengan Medan Magnet pada t = 7,8 detik



Gambar 4.7 Data Kekasaran Permukaan Proses Pemakanan dengan Spindle Speed 2600 rpm tanpa (a) dan dengan (b) Pengaplikasian Medan Magnet

Penelitian untuk proses pemakanan dengan *spindle speed* 2600 rpm menghasilkan grafik yang terdapat pada Gambar 4.5, Gambar 4.6, dan Gambar 4.7. Gambar 4.5 menjelaskan nilai Amplitudo pada selang waktu permesinan $t = 6 - 9,6$ detik. Pada $t = 7,8$ detik diambil sampel data *spectrum frequency* yang dihasilkan pada kedua proses permesinan sesuai pada Gambar 4.6 serta pengujian kekasaran permukaan seperti yang tertera pada Gambar 4.7.

Selama operasi permesinan, terjadi dua macam getaran, yaitu resonansi dan *regenerative chatter*. Melalui percobaan *dry run* kita dapat mengetahui nilai frekuensi natural dari *spindle* yaitu sebesar 3 Hz, dan jika dibandingkan dengan frekuensi eksitasinya didapat nilai yang tidak bulat sehingga fenomena getaran yang terjadi pada segmen ini yaitu segmen 2 ($6,0 \leq t \leq 9,6$) adalah *regenerative chatter*. Fenomena *regenerative chatter* dapat terjadi akibat adanya ketidakstabilan pahat potong ketika melakukan proses permesinan. Salah satu faktor yang menyebabkan ketidakstabilan pahat untuk tetap berada di titik seimbangnya adalah *cutting force*. *Cutting force* yang fluktuatif mempengaruhi besarnya nilai Amplitudo.

Dapat dilihat pada Gambar 4.5 yaitu proses *slot milling* dengan parameter *spindle speed* 2600 rpm, proses pemakanan tanpa medan magnet menghasilkan nilai Amplitudo cenderung tidak beraturan dibandingkan dengan proses pemakanan dengan medan magnet. Hal ini ditunjukkan pada segmen 2 nilai *root mean square* (rms) Amplitudo pemakanan tanpa medan magnet sebesar 0,0016 mm dan dengan medan magnet sebesar 0,0012 mm.

Berdasarkan Gambar 4.6, fenomena *regenerative chatter* pada nilai Amplitudo tertinggi pada grafik, yaitu pada frekuensi 10 Hz diketahui melalui proses pemakanan tanpa medan magnet. proses pemakanan dengan medan magnet menghasilkan Amplitudo yang lebih rendah pada setiap frekuensinya. Sesuai dengan penjelasan pada Persamaan 2-9 dan 2-10, *repulsive force* dari magnet permanen yang berperan dalam meredam getaran dapat menjaga pahat potong untuk berada pada titik keseimbangannya sehingga fenomena *regenerative chatter* dapat diminimalisasi. Teredamnya getaran diikuti dengan penekanan fenomena *regenerative chatter* menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih rendah pada segmen yang sama dengan nilai kekasaran rata-rata (R_a) tanpa dan dengan medan magnet secara berturut-berturut sebesar 0,496 μm dan 0,341 μm dengan presentase reduksi sebesar 37.182%. Hasil pada sampel lainnya dapat dilihat di Tabel 4.11 dan 4.12 berikut.

Tabel 4.11

Rentang Waktu Pengambilan Data *Amplitudo*, dan Kekasaran Permukaan (*Ra*) tanpa Medan Magnet dengan *Spindle Speed* 2600 rpm

Segmen	Selang Waktu (menit : detik)	Amplitudo (rms)	Kekasaran Permukaan (μm)
Segmen 1	00:02,4 - 00:06,0	0,0018	0,564
Segmen 2	00:06,0 - 00:09,6	0,0016	0,496
Segmen 3	00:09,6 - 00:13,2	0,0015	0,489
Segmen 4	00:13,2 - 00:16,8	0,0017	0,446
Segmen 5	00:16,8 - 00:20,4	0,0017	0,731
Rata-rata		0,0016	0,545

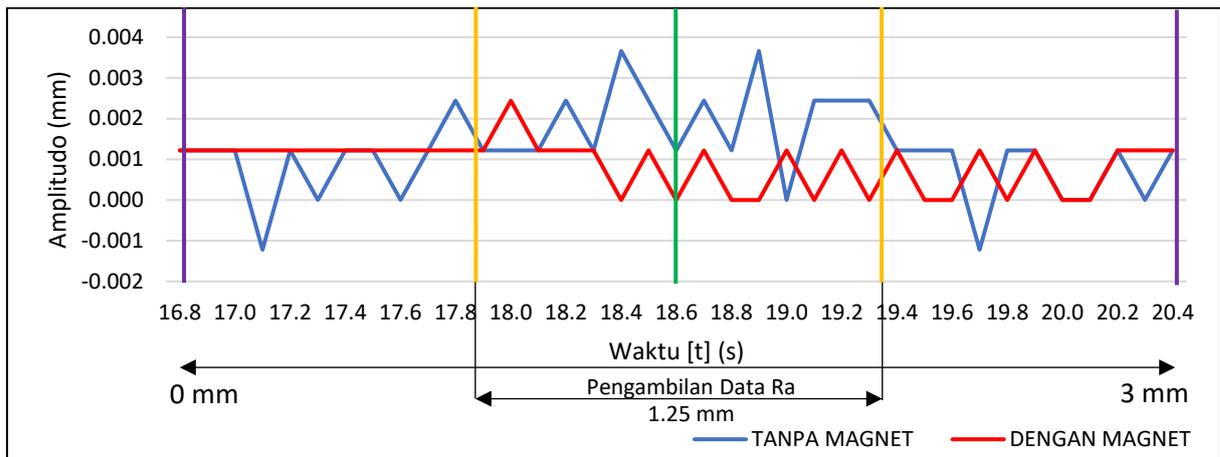
Tabel 4.12

Rentang Waktu Pengambilan Data *Amplitudo*, dan Kekasaran Permukaan (*Ra*) dengan Medan Magnet dengan *Spindle Speed* 2600 rpm

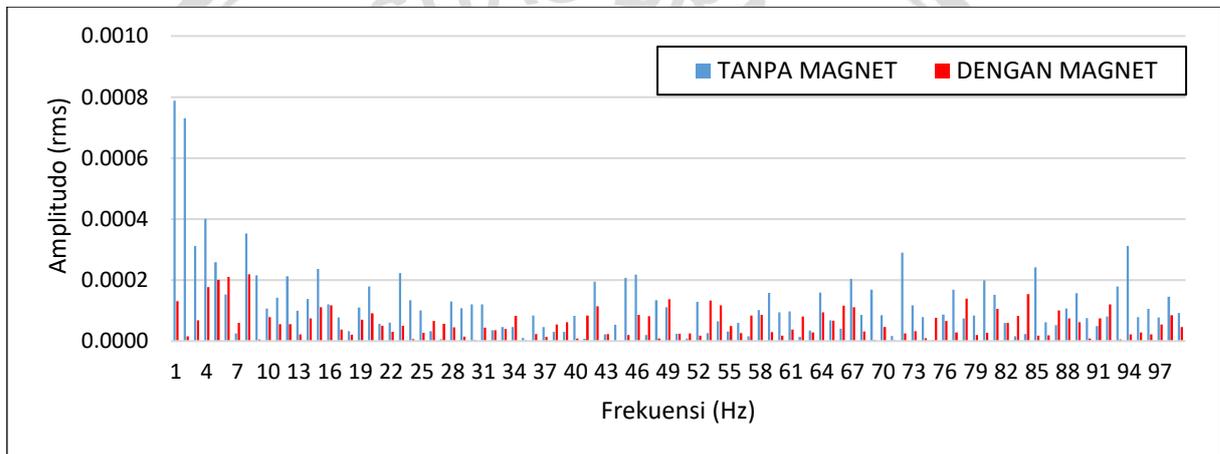
Segmen	Selang Waktu (menit : detik)	Amplitudo (rms)	Kekasaran Permukaan (μm)
Segmen 1	00:02,4 - 00:06,0	0,0015	0,391
Segmen 2	00:06,0 - 00:09,6	0,0012	0,341
Segmen 3	00:09,6 - 00:13,2	0,0012	0,391
Segmen 4	00:13,2 - 00:16,8	0,0014	0,373
Segmen 5	00:16,8 - 00:20,4	0,0016	0,381
Rata-rata		0,0014	0,375

Berdasarkan tabel 4.11 dan 4.12, maka dapat disimpulkan bahwa pengaplikasian medan magnet pada proses *Slot Milling* dengan *spindle speed* sebesar 2600 rpm menghasilkan reduksi nilai rms Amplitudo dan kekasaran permukaan yang cukup signifikan.

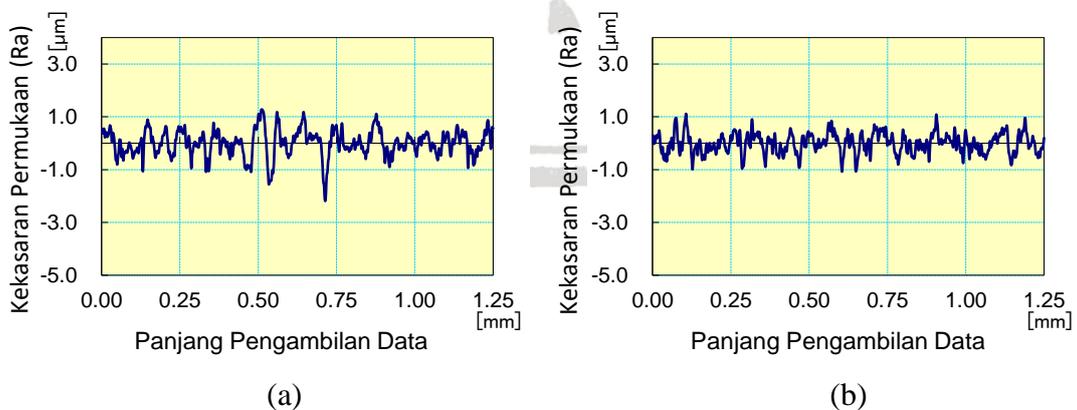
4.4.2.3 Proses Pemakanan dengan *Spindle Speed* 2800 rpm



Gambar 4.8 Data Amplitudo pada Proses *Slot Milling* dengan *Spindle Speed* 2800 rpm tanpa dan dengan Medan Magnet



Gambar 4.9 Data *Spectrum Frequency* pada Proses *Slot Milling* dengan *Spindle Speed* 2800 rpm tanpa dan dengan Medan Magnet pada $t = 18,6$ detik



Gambar 4.10 Data Kekasaran Permukaan dengan *Spindle Speed* 2800 rpm pada Proses *Slot Milling* tanpa (a) dan dengan (b) Medan Magnet



Penelitian untuk proses pemakanan dengan *spindle speed* 2600 rpm menghasilkan grafik yang terdapat pada Gambar 4.8, Gambar 4.9, dan Gambar 4.10. Gambar 4.8 menjelaskan nilai Amplitudo pada selang waktu permesinan $t = 16,8 - 20,4$ detik. Pada $t = 18,6$ detik diambil sampel data *spectrum frequency* yang dihasilkan pada kedua proses permesinan sesuai pada Gambar 4.9 serta pengujian kekasaran permukaan seperti yang tertera pada Gambar 4.10.

Selama operasi permesinan, terjadi dua macam getaran, yaitu resonansi dan *regenerative chatter*. Melalui percobaan *dry run* kita dapat mengetahui nilai frekuensi natural dari *spindle* yaitu 1 Hz, dan jika dibandingkan dengan frekuensi eksitasinya didapat nilai yang tidak bulat sehingga fenomena getaran yang terjadi pada segmen ini yaitu segmen 5 ($16,8 \leq t \leq 20,4$) adalah *regenerative chatter*. Fenomena *regenerative chatter* dapat terjadi akibat adanya ketidakstabilan pahat potong ketika melakukan proses permesinan. Salah satu faktor yang menyebabkan ketidakstabilan pahat untuk tetap berada di titik seimbangannya adalah *cutting force*. *Cutting force* yang fluktuatif mempengaruhi besarnya nilai Amplitudo.

Dapat dilihat pada Gambar 4.8 yaitu proses *slot milling* dengan parameter *spindle speed* 2800 rpm, proses pemakanan tanpa medan magnet menghasilkan nilai Amplitudo cenderung tidak beraturan dibandingkan dengan proses pemakanan dengan medan magnet. Hal ini ditunjukkan pada segmen 5, nilai *root mean square (rms) Amplitudo* pemakanan tanpa medan magnet sebesar 0,0017 mm dan dengan medan magnet sebesar 0,0011 mm.

Berdasarkan Gambar 4.9, fenomena *regenerative chatter* pada nilai Amplitudo tertinggi pada grafik, yaitu pada frekuensi 1 Hz diketahui melalui proses pemakanan tanpa medan magnet. Proses pemakanan dengan medan magnet menghasilkan Amplitudo yang lebih rendah pada setiap frekuensinya. Sesuai dengan penjelasan pada Persamaan 2-9 dan 2-10, *repulsive force* dari magnet permanen yang berperan dalam meredam getaran dapat menjaga pahat potong untuk berada pada titik keseimbangannya sehingga fenomena *regenerative chatter* dapat diminimalisasi. Teredamnya getaran diikuti dengan penekanan fenomena *regenerative chatter* menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih rendah pada segmen yang sama dengan nilai kekasaran rata-rata (R_a) tanpa dan dengan medan magnet secara berturut-turut sebesar $0,384 \mu\text{m}$ dan $0,304 \mu\text{m}$ dengan presentase reduksi sebesar 23,432%. Hasil pada sampel lainnya dapat dilihat di Tabel 4.13 dan 4.14 berikut.

Tabel 4.13

Rentang Waktu Pengambilan Data Amplitudo, dan Kekasaran Permukaan (Ra) tanpa Medan Magnet dengan *Spindle Speed* 2800 rpm

Segmen	Selang Waktu (menit : detik)	Amplitudo (rms)	Kekasaran Permukaan (μm)
Segmen 1	00:02,4 - 00:06,0	0,0017	0,511
Segmen 2	00:06,0 - 00:09,6	0,0013	0,445
Segmen 3	00:09,6 - 00:13,2	0,0016	0,333
Segmen 4	00:13,2 - 00:16,8	0,0013	0,386
Segmen 5	00:16,8 - 00:20,4	0,0017	0,384
Rata-rata		0,0015	0,412

Tabel 4.14

Rentang Waktu Pengambilan Data Amplitudo, dan Kekasaran Permukaan (Ra) dengan Medan Magnet dengan *Spindle Speed* 2800 rpm

Segmen	Selang Waktu (menit : detik)	Amplitudo (rms)	Kekasaran Permukaan (μm)
Segmen 1	00:02,4 - 00:06,0	0,0010	0,321
Segmen 2	00:06,0 - 00:09,6	0,0012	0,323
Segmen 3	00:09,6 - 00:13,2	0,0011	0,353
Segmen 4	00:13,2 - 00:16,8	0,0013	0,358
Segmen 5	00:16,8 - 00:20,4	0,0011	0,304
Rata-rata		0,0011	0,332

Berdasarkan Tabel 4.13 dan 4.14, maka dapat disimpulkan bahwa pengaplikasian medan magnet pada proses *slot milling* dengan *spindle speed* sebesar 2800 rpm menghasilkan reduksi nilai rms Amplitudo dan kekasaran permukaan yang cukup signifikan.

