

## Eksperimen Pengaruh Kecepatan Potong (cutting speed) Terhadap Terjadinya Chatter Pada Proses Face Milling

**Suhardjono**

Lab. Mesin Perkakas dan Vibrasi, Teknik Manufaktur.

Jurusan Teknik Mesin FTI – ITS, Surabaya

E-mail: suhardjono@me.its.ac.id

### **ABSTRAK**

*Salah satu cara untuk meningkatkan produktivitas proses pemesinan dalam hal ini proses face milling adalah dengan menaikkan lebar geram atau kedalaman potongnya. Tetapi jika kenaikan lebar geram mencapai lebar geram kritis ( $b_{lim}$ ) maka proses tersebut melewati batas kestabilannya dan akan mengalami kenaikan amplitudo getaran yang sangat drastis yang biasa disebut chatter. Terjadinya chatter ditandai dengan bunyi mendengung dan kenaikan amplitudo getaran yang melonjak secara tiba-tiba. Selain itu kualitas permukaan benda kerja akan menurun, kekasaran naik lebih dari dua kali lipat.*

*Banyak faktor yang mempengaruhi terjadinya chatter diantaranya adalah parameter kondisi pemotongan (kecepatan makan, kecepatan potong), geometri pahat, orientasi pahat terhadap benda kerja, kekakuan sistem pencekaman baik pahat maupun benda kerja. Untuk mempelajari lebih mendalam pengaruh salah satu parameter diatas, dalam hal ini dipilih perubahan kecepatan potong, maka dilakukan eksperimen. Jadi eksperimen dimaksudkan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh kecepatan potong terhadap chatter pada proses face milling untuk orientasi  $0^\circ$  (sumbu pahat tepat tegak lurus sumbu benda kerja). Eksperimen dilakukan dengan cara pengujian eksitasi untuk mendapatkan frekuensi pribadi dan dilanjutkan dengan pengujian pemotongan untuk mendapatkan batas kestabilan ( $b_{lim}$ ) beserta respon getarannya.*

*Dari pengujian eksitasi didapatkan frekuensi pribadi sistem arah vertikal dan horizontal masing-masing sebesar 288 Hz dan 438 Hz. Sedangkan saat pengujian pemotongan, pada kecepatan potong rendah kenaikan amplitudo saat chatter tidak sebesar pada kecepatan potong tinggi. Untuk kenaikan kecepatan potong dari 25.3 m/min – 129.2 m/min didapatkan penurunan nilai lebar geram kritis ( $b_{lim}$ ) dari 4.35 mm menjadi 0.76 mm atau terjadi penurunan batas chatter hingga 82.53%. Namun untuk kecepatan potong yang lebih tinggi lagi, yaitu 180 m/min bahkan terjadi kenaikan lebar geram kritis dari 0.76 mm menjadi 1.59 mm.*

**Kata kunci :** chatter, batas kestabilan, kecepatan potong, frekuensi pribadi, respon getaran, kekasaran permukaan.

### **Pendahuluan**

Menurut statistik pemakaian mesin perkakas terbesar didominasi oleh mesin bubut (Lathe), namun setelah perkembangan mesin CNC dominasi tersebut diambil alih oleh mesin freis tegak (vertical milling) yang selanjutnya lebih dikenal dengan machining center. Dengan menggunakan mesin freis vertikal inilah pekerjaan-pekerjaan pemesinan yang kompleks dapat dilakukan, baik untuk komponen dengan kontur dua dimensi maupun kontur tiga dimensi khususnya untuk membentuk rongga-rongga cetakan (mold cavity). Hakekat proses freis yang menggunakan mata potong jamak (multipoint tools) dengan putaran tinggi tentu saja memberikan gaya dinamik dan berakibat timbulnya getaran. Getaran pada saat proses pemesinan akan menyebabkan terjadinya gerak relatif antara pahat dan benda kerja. Gerak relatif inilah yang mengakibatkan permukaan produk menjadi bergelombang yang pada akhirnya berpengaruh terhadap kualitas produk, tidak hanya menurunkan kualitas kekasaran permukaan saja, tetapi juga menurunkan ketelitian baik dimensi (ukuran) maupun geometri (kebulatan, kesilindrisan, kerataan, keparalelan, dan sebagainya).

Timbulnya getaran pada proses pemesinan terutama diakibatkan oleh gaya eksitasi dari luar yang sering disebut getaran paksa (force vibration) dan oleh adanya pemberian energi yang terus-menerus ke sistem yang dikenal dengan getaran eksitasi diri (self excited vibration). Gaya eksitasi luar misalnya

berasal dari fluktuasi gaya potong, putaran mesin yang tidak seimbang (unbalance), benturan (impact). Sedangkan getaran eksitasi diri terjadi akibat adanya rangkaian tertutup (close loop) sebab-akibat yang tiada putusnya. Jadi adanya fluktuasi gaya potong akan mengeksitasi sistem getaran mesin perkakas yang menyebabkan mesin bergetar dan getaran ini mengakibatkan gerak relatif antara pahat dan benda kerja yang menimbulkan permukaan bergelombang. Selanjutnya permukaan yang bergelombang ini menimbulkan modulasi tebal geram, maka terjadilah fluktuasi gaya potong yang lebih besar yang akan mengeksitasi mesin perkakas sehingga bergetar lebih besar lagi, begitu seterusnya dan siklus berulang kembali dan getaran terus membesar setiap kali siklus berulang. Hal ini yang disebut proses tidak stabil yang lebih dikenal dengan nama chatter. Chatter hanya dapat dihilangkan dengan menghentikan proses yang berarti memutus siklus tertutup diatas.

Akibat terjadinya chatter tidak hanya menurunkan qualitas produk terutama kekasaran permukaan, tetapi juga memperpendek komponen mesin, mempercepat keausan pahat, kerusakan pahat (patah), penurunan produktivitas (akibat reject atau rework) dan kebisingan yang luar biasa. Chatter dapat dicegah dengan menurunkan getaran yang terjadi, yaitu dengan cara menaikkan kekakuan dinamik dan atau redaman.

Terjadinya chatter tidak hanya tergantung pada karakteristik dinamik dari mesin perkakasnya saja, tetapi juga tergantung pada parameter kondisi pemesinan dan orientasi antara pahat dan benda kerja yang telah diteliti oleh Tlusty (1970) dan Suhardjono (1990).

Dari penelitian yang terdahulu, peneliti hanya mendeteksi kapan terjadinya chatter sedangkan bagaimana cara mereduksi atau menghindari chatter masih sedikit dilakukan. Pada tahun 2000 suhardjono mengembangkan seismic damper (gedämpfter Tilger) untuk meredam getaran pada proses bubut, sehingga efek kekasaran permukaannya menurun dari  $R_t 180\mu\text{m}$  menjadi  $R_t 20\mu\text{m}$ .

Pengaruh geometri pahat khususnya sudut potong utama pada proses bubut (single point tool) menunjukkan sedikit penurunan batas lebar geram atau batas stabilitas proses dengan naiknya sudut potong utama. Selain itu dengan naiknya sudut potong utama hampir tidak berpengaruh pada kekasaran permukaan saat proses stabil, namun sangat berpengaruh pada saat terjadi chatter. Saat terjadi chatter kekasaran permukaan menurun secara eksponensial dengan naiknya sudut potong utama (suhardjono, 2005).

Dari latar belakang penelitian diatas, maka perlu diteliti lebih detail dan lebih dalam lagi pengaruh kecepatan potong pada proses freis tegak terhadap terjadinya getaran khususnya chatter serta alternatif cara menanggulanginya, seperti topik penelitian yang dilakukan ini.

## Dasar Teori

Getaran pada proses pemesinan terjadi karena adanya sebab akibat yang saling mempengaruhi. Getaran menyebabkan adanya gerak relatif antara benda kerja dan pahat, selanjutnya timbul perubahan tebal geram yang mempengaruhi perubahan gaya potong. Perubahan gaya potong inilah yang mengeksitasi sistem getaran dan berakibat sistem bergetar. Kembali lagi getaran menyebabkan gerak relatif pahat-benda kerja dan proses berulang kembali dan membuat rangkaian tertutup yang saling pengaruh mempengaruhi.

Gaya yang mengeksitasi sistem getaran mesin perkakas yang dinyatakan dengan hubungan antara gaya dan getaran dirumuskan sebagai berikut:

$$P = -R Y \quad (1)$$

Dimana  $P$  gaya eksitasi,  $R$  fungsi transfer dan  $Y$  getaran yang terjadi.

Untuk proses pemesinan persamaan (1) dapat dijabarkan kembali menjadi

$$P = -b r Y \quad (2)$$

dengan  $b$  lebar geram dan  $r$  konstanta yang tergantung pada semua kondisi pemotongan kecuali lebar geram. Secara umum gaya potong yang timbul pada proses pemesinan dirumuskan

$$\begin{aligned}
 P_c &= C \cdot a \cdot v_f^{0.75} \\
 &= C \cdot b \cdot \sin \kappa_r \cdot v_f^{0.75} \\
 &= C_1 \cdot b \cdot v_f^{0.75}
 \end{aligned} \tag{3}$$

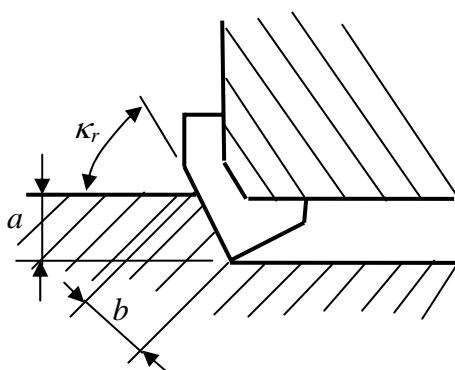
dimana  $P_c$  gaya potong,  $a$  kedalaman potong,  $b$  lebar geram dan  $v_f$  kecepatan makan (feed rate).

Hubungan antara kedalaman potong dan lebar geram pada proses freis tegak dapat lebih dipahami dengan visualisasi gambar 1.

Kedalaman potong dinyatakan sebagai

$$a = b \cdot \sin \kappa_r \tag{4}$$

dimana  $\kappa_r$  adalah sudut potong utama.



Gambar 1. Hubungan kedalaman potong  $a$  dan lebar geram  $b$ .

Perubahan gaya potong sesaat yang menyebabkan getaran dapat diturunkan dengan diferensiasi dari rumus gaya potong persamaan (3) terhadap kecepatan makan (Koenigsberger, 1970)

$$b \cdot r = -\frac{P}{Y} = -\frac{dP_c}{dV_f} = 0.75 \cdot C_1 \cdot b \cdot v_f^{-0.25} \tag{5}$$

sehingga

$$r = C_2 \cdot v_f^{-0.25} \tag{6}$$

dengan  $C_2 = 0.75 C_1$ .

Untuk  $r$  real dan konstan, maka

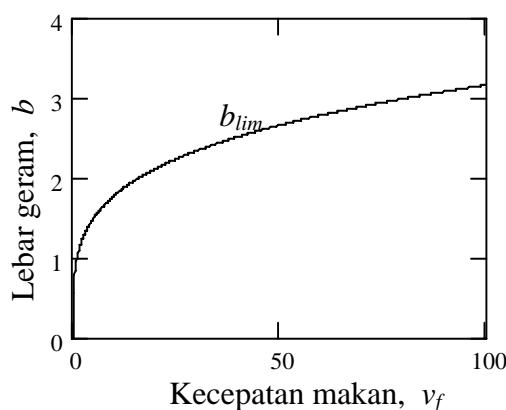
$$b \cdot v_f^{-0.25} = C_3 \quad \text{atau} \quad b = C_3 \cdot v_f^{0.25} \tag{7}$$

Persamaan (7) dapat dibuat grafik hubungan antara batas lebar geram kritis  $b_{lim}$  saat terjadi chatter dan kecepatan makan  $V_f$  seperti terlihat pada gambar 2.

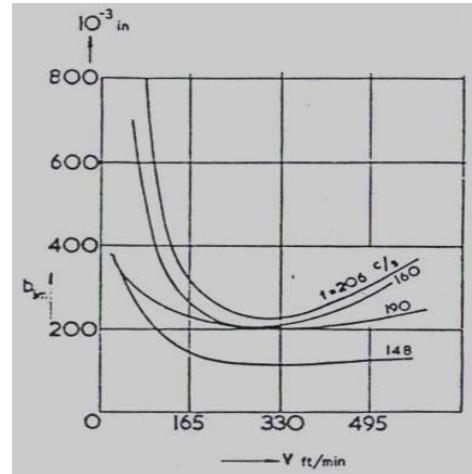
Proses pemotongan pada face milling dipengaruhi oleh beberapa parameter, diantaranya : kecepatan makan, kecepatan potong, geometri pahat, dan material benda kerja. Hal yang menyatakan pengaruh parameter tersebut pada *chatter* adalah lebar geram kritis ( $b_{lim}$ ). *Chatter* pada material yang berbeda untuk kondisi pemotongan yang sama juga berbeda.

Untuk pengaruh kecepatan potong  $v$  pada proses face milling terhadap batas kestabilan ( $b_{lim}$ ) memiliki kesamaan dengan tiap proses pemesinan yang lain. Pada kecepatan potong yang lebih rendah, proses pemotongan memiliki batas kestabilan yang lebih tinggi. Dengan ditingkatkannya kecepatan potong maka akan terjadi penurunan lebar geram kritis yang signifikan sehingga proses lebih mudah terjadi *chatter*. Sedangkan untuk kecepatan potong yang lebih tinggi, kenaikan kecepatan potong akan

menaikan  $b_{lim}$  namun tidak signifikan. Seperti terlihat pada gambar 3 frekuensi yang terdapat pada gambar tersebut mengindikasikan kekakuan dinamik.



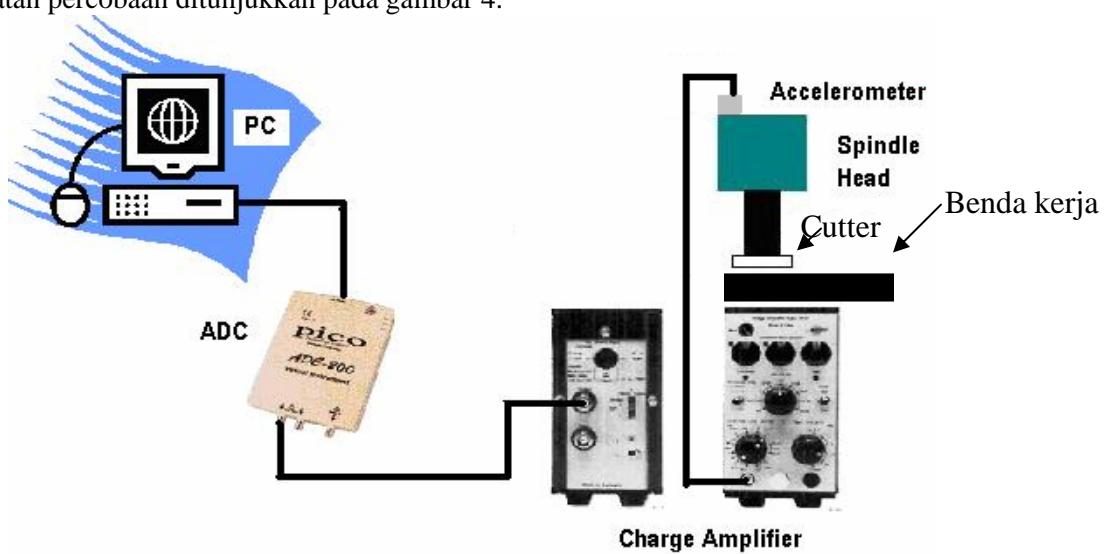
Gambar 2. Hubungan  $b_{lim}$  dan kecepatan makan.



Gambar 3. Grafik Hubungan  $v$  dan  $b_{lim}$

### Metodologi Pelaksanaan Eksperimen

Untuk mempelajari pengaruh kecepatan potong, maka parameter kecepatan potong divariasikan sedangkan parameter kecepatan makan dibuat konstan. Selanjutnya kedalaman potong dinaikkan sedikit demi sedikit dan setiap kenaikan diukur getaran yang terjadi. Setelah terjadi loncongan amplitude getaran yang tidak linear, maka dinyatakan proses sudah melewati batas stabil atau terjadi chatter. Rangkaian peralatan percobaan ditunjukkan pada gambar 4.

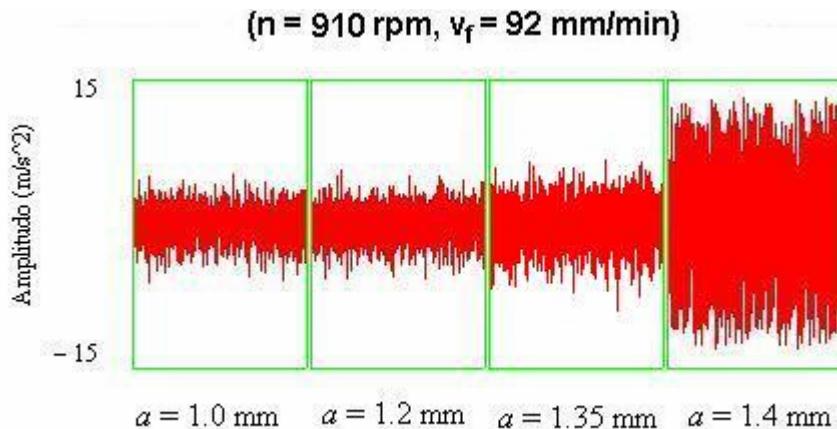


Gambar 4. Rangkaian peralatan percobaan

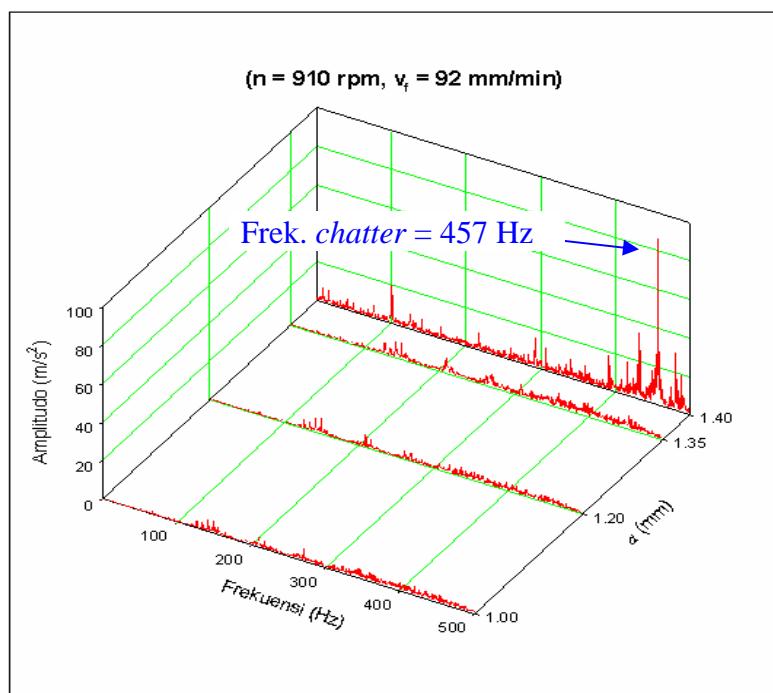
Hasil Pengukuran dalam domain waktu selanjutnya dianalisis dalam frekuensi domain dengan *Fast Fourier Transformation* (FFT) untuk mendapatkan informasi frekuensi yang akurat. Amplitude getaran maksimum untuk setiap kedalaman potong dicatat dan ditabelkan, dari tabel tersebut divisualisasi dengan grafik.

### Hasil Percobaan dan Diskusi

Hasil pengukuran getaran untuk putaran 910 rpm atau kecepatan potong  $v = 180.1$  m/min ditunjukkan pada gambar 5a untuk domain waktu dan gambar 5b untuk domain frekuensi dibawah ini. Pada gambar tersebut terlihat bahwa amplitudo getaran untuk kedalaman potong  $a$  dibawah 1.40 mm praktis tidak terjadi kenaikan yang signifikan, namun mulai kedalaman potong 1.40 mm terjadi kenaikan amplitudo getaran yang meningkat secara tiba-tiba terutama pada frekuensi 457 Hz yang berdekatan dengan salah satu frekuensi pribadinya.

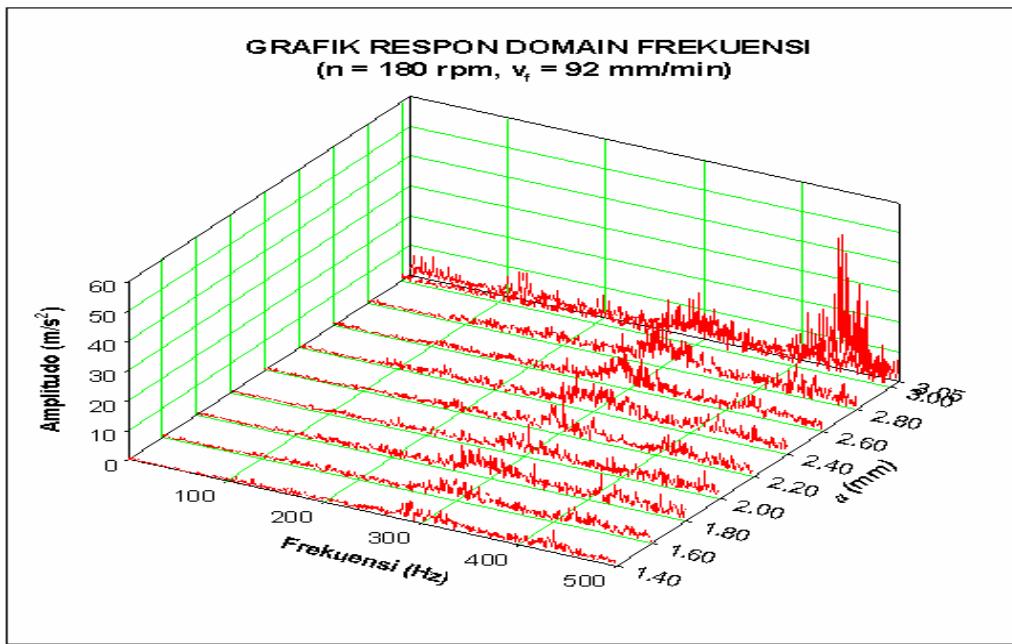


Gambar 5a. Respon getaran proses freis tegak untuk beberapa kedalaman potong  $a$  pada putaran 910 rpm.



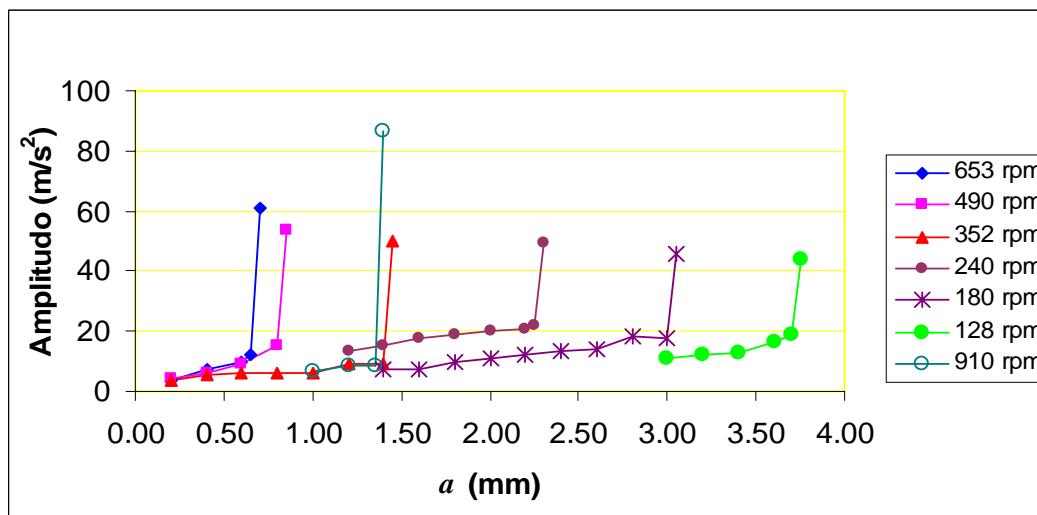
Gambar 5b. Diagram waterfall untuk hasil pengukuran getaran untuk putaran 910 rpm ( $v = 180.1$  m/min)

Hasil pengukuran getaran untuk putaran yang lebih rendah  $n=180$  rpm atau kecepatan potong  $v=35.6$  m/min ditunjukkan pada diagram waterfall gambar 6. Pada gambar tersebut terlihat bahwa untuk putaran 180 rpm baru terjadi chatter pada kedalaman potong  $a=3.05$  mm, jadi terjadi kenaikan batas kedalaman potong kritis  $a_{lim}$  dibandingkan dengan putaran yang lebih tinggi 910 rpm.



Gambar 6. Diagram waterfall hasil pengukuran getaran untuk putaran 180 rpm ( $v = 35.6$  m/min)

Diagram waterfall hasil pengukuran getaran untuk putaran 240 rpm s.d. 653 rpm tidak ditampilkan, karena tren kenaikan amplitude hampir mirip hanya harga kedalaman potong saat terjadi chatter atau  $a_{lim}$  yang berbeda. Analisis hasil pengukuran getaran keseluruhan ditunjukkan pada gambar 7 dan tabel I.



Gambar 7. Grafik amplitude getaran sebagai fungsi kedalaman potong  $a$  untuk putaran 128 rpm – 910 rpm.

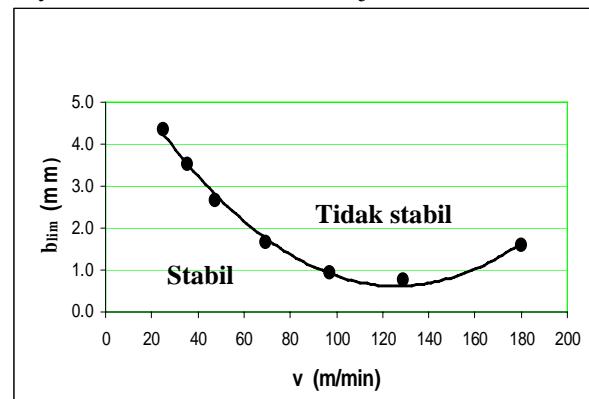
Tabel I. Data hasil pengukuran amplitudo getaran saat proses *face milling*.

<i>n</i> (rpm)	<i>v</i> (m/min)	<i>a</i> (mm)	<i>b</i> (mm)	Ampli- tude ( $m/s^2$ )	Frek. (Hz)	<i>n</i> (rpm)	<i>v</i> (m/min)	<i>a</i> (mm)	<i>b</i> (mm)	Ampli- tude ( $m/s^2$ )	Frek. (Hz)
128	25.3	3.00	3.53	11.02	443	352	69.7	0.20	0.24	3.77	
		3.20	3.76	12.20				0.40	0.47	5.22	
		3.40	4.00	12.76				0.60	0.71	5.87	
		3.60	4.23	16.76				0.80	0.94	5.95	
		3.70	4.35	18.84				1.00	1.18	6.22	
		3.75	4.41	43.76				1.20	1.41	9.33	
180	35.6	1.40	1.65	7.49	443	490	97.0	1.40	1.65	9.39	443
		1.60	1.88	7.44				1.45	1.70	50.15	
		1.80	2.12	9.67				0.20	0.24	4.41	
		2.00	2.35	11.17				0.40	0.47	6.07	
		2.20	2.59	12.09				0.60	0.71	9.06	
		2.40	2.82	13.19		653	129.2	0.80	0.94	15.49	455
		2.60	2.06	14.20				0.85	1.00	53.96	
		2.80	3.29	18.13				0.20	0.24	3.51	
		3.00	3.53	17.80				0.40	0.47	7.29	
		3.05	3.58	45.45				0.60	0.71	9.97	
240	47.5	1.20	1.41	13.22	442	910	180.1	0.65	0.76	12.24	449
		1.40	1.65	15.46				0.70	0.82	60.68	
		1.60	1.88	17.93				1.00	1.18	6.48	
		1.80	2.12	18.70				1.20	1.41	8.34	
		2.00	2.35	20.37				1.35	1.59	8.75	457
		2.20	2.59	20.99				1.40	1.65	86.44	
		2.25	2.64	22.14							
		2.30	2.70	49.65							
											Batas stabilitas (chatter)

Batas kedalaman potong kritis  $a_{lim}$  dan lebar geram kritis  $b_{lim}$  sebagai variasi kecepatan potong  $v$  pada proses face milling ditunjukkan pada tabel II dan diplot dalam gambar 8 untuk menunjukkan daerah pemotongan stabil dan tidak stabil. Proses face milling dengan kecepatan potong tertentu dan lebar geram masih dibawah kurva dinyatakan stabil dan diatas kurva dinyatakan tidak stabil atau terjadi chatter.

Tabel II. Harga  $a_{lim}$  dan  $b_{lim}$

$v$ (m/min)	$a_{lim}$ (mm)	$b_{lim}$ (mm)
25.3	3.70	4.348
35.6	3.00	3.526
47.5	2.25	2.644
69.7	1.40	1.645
97.0	0.80	0.940
129.2	0.65	0.764
180.1	1.35	1.587



Gambar 8. Hubungan kecepatan potong  $v$  terhadap lebar geram kritis  $b_{lim}$ .

## Kesimpulan

Dari hasil diskusi data eksperimen diatas dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh kecepatan potong terhadap terjadinya chatter yang dalam hal ini dinyatakan dengan batas lebar gerak kritis ( $b_{lim}$ ), bahwa semakin besar kecepatan potong maka semakin rendah batas lebar gerak kritisnya. Kenaikan kecepatan potong dari 25.3 m/min menjadi 129.2 m/min terjadi penurunan batas lebar gerak kritis dari 4.35 mm menjadi hanya 0.76 mm, namun untuk kecepatan potong yang sangat tinggi  $v=180.1$  m/min terjadi kenaikan batas lebar gerak menjadi 1.59 mm.
2. Semakin tinggi kecepatan potong terjadi kecenderungan kenaikan frekuensi chatter. Kecepatan potong 25.3 hingga 69.7 m/min terjadi chatter dengan frekuensi 443 Hz dan untuk kecepatan potong 180.1 terjadi chatter dengan frekuensi 457 Hz.
3. Pada daerah stabil, semakin tinggi kecepatan potong terjadi amplitudo getaran yang semakin rendah. Namun pada daerah tidak stabil bahkan terjadi kenaikan amplitudo getaran chatter.
4. Perbandingan amplitudo getaran pada batas chatter dan chatter untuk kecepatan potong rendah dan menengah sekitar 3 hingga 5 kali lipat, namun untuk kecepatan potong tinggi dapat mencapai 10 kali lipat.

## Daftar Pustaka

- Ewin. D.J, 1986, **Modal Testing-Theory and Practice**, B & K, Research studies press Ltd, Lechworth.
- Koenigsberger, F ; and J. Tlusty, 1970, **Machine Tool Structures**, Volume 1, Pergamon Press Ltd, New York.
- Kondo,E., Ota, H. and Kawai,T., 1997, **A New Method to Detect Regenerative Chatter Using Spectral Analysis**, Part 1: Basic Study on Criteria for Detection of Chatter, ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 119, pp. 461-466.
- Marui, E., Kato, S., Hashimoto M. and Yamada, T., 1988, **The Mechanism of Chatter Vibration in a Spindle-Workpiece System**, Part 3: Analytical Considerations, ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 110, pp. 248-253.
- Suhardjono, 1990, **Analisis Chatter Proses Pemesinan Pada Mesin Freis Vertikal**, Magister-Thesis, Institut Teknologi Bandung.
- Suhardjono, 2000, **Ein variabel einsetzbarer gedämpfter Tilger zur Reduzierung von Ratterschwingungen bei Drehmaschinen**, Wissenschaft & Technik Verlag, Berlin.
- Suhardjono, 2005, **The Effect Of Lead Angle On Vibration and On Surface Roughness of Turning Process Clamped by Chuck Without Tailstock Support**, Majalah IPTEK, LPPM ITS, Surabaya.
- Zaveri, K, 1984, **Modal Analysis of Large Structures Multiple Exciter System**, 1<sup>st</sup> edition, Brüel & Kjaer.