

ANALISA PENGARUH GAYA POTONG TERHADAP DEFLEKSI PAHAT MILLING DENGAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Marzuki dan Syukran

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Lhokseumawe

Gaya potong selain menyebabkan getaran juga akan mengakibatkan defleksi baik bagi pahat maupun benda kerja. Defleksi pahat menimbulkan kesalahan geometrik produk dan getaran yang akan memperpendek umur pahat. Proses Milling vertikal dengan menggunakan pahat HSS End Mill dengan besar dan arah gaya potong tidak setaraf dengan gaya makan akan menimbulkan fluktuasi momen puntir pada spindel. Gaya potong akan menyebabkan terjadinya defleksi. Pengujian dilakukan dengan mengukur gaya potong yang mengenai benda kerja dengan menggunakan dinamometer. Besarnya defleksi dengan mengasumsikan pahat sebagai suatu batang kantilever dengan momen yang terjadi ditentukan oleh gaya potong tangensial pada ujung mata potong. Analisa dengan menggunakan permodelan matematis dan Metode Elemen Hingga yang menggunakan software Ansys versi. 5.4 diketahui adanya defleksi pada ujung mata potong pahat yang disebabkan oleh gaya pemotongan yang besar yang menyebabkan terjadinya penyimpangan pemakanan benda kerja oleh gigi potong. Defleksi mata potong akan mengakibatkan getaran, mempercepat keausan pahat dan juga mengakibatkan ketidak seragaman dan kerataan permukaan produk yang dihasilkan.

Kata Kunci : Defleksi, Gaya Potong, Pahat Potong, Sudut Persentuhan, Geometri produk, Ansys

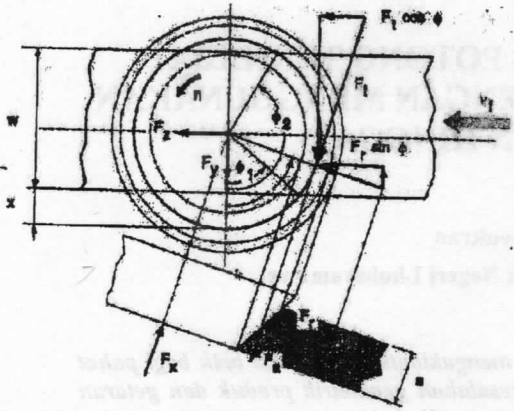
NOTASI

v	= Kecepatan potong, m/min
d	= Diameter, mm
n	= Putaran Spindle,
V_f	= Kecepatan makan, mm/min
f_z	= Gerak makan pergigi, mm/gigi
z	= Jumlah gigi
$\cos \phi_1$	= Sudut masuk
$\cos \phi_2$	= Sudut keluar
Φ_c	= Sudut persentuhan
x	= Posisi Milling/freis
w	= Kedalaman potong radial, mm
f_z	= Gerak makan per gigi
h_m	= Tebal geram, mm
b_m	= Lebar geram, mm
A_m	= Penampang geram
k_{sm}	= Gaya potong spesifik referensi
$k_{s1.1}$	= Gaya potong spesifik, N/mm ²
p	= Pangkat untuk tebal geram sebelum terpotong
f_t	= Gaya potong tangensial, N
$d_y(Z)$	= Defleksi mata pahat y pada fungsi Z
f_y	= Gaya potong Y, N
CFY	= Jarak pusat gaya potong pada mata potong, mm
I_y	= Momen inersia dari End Mill

E = Modulus elastisitas End Mill dengan unsur paduan Tungsten, N/m

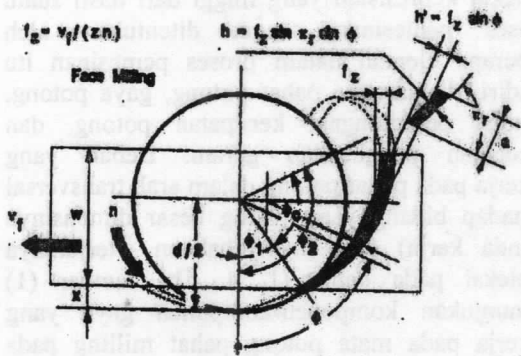
PENDAHULUAN

Tingkat kepresisian yang tinggi dari hasil suatu proses pemesinan sangat ditentukan oleh beberapa elemen dalam proses pemesinan itu sendiri, diantaranya pahat potong, gaya potong, kondisi pemotongan, kecepatan potong, dan kecepatan penghasilan geram. Beban yang bekerja pada pahat potong dalam arah transversal terhadap bidang yang paling besar dimensinya (benda kerja) akan menyebabkan terjadinya depleksi pada pahat [1, 4, 5]. Gambar (1) menunjukkan komponen-komponen gaya yang bekerja pada mata potong pahat milling pada suatu proses permesinan.



Gambar 1. Komponen gaya pada mata potong pahat Milling (F_t , F_r , F_a)

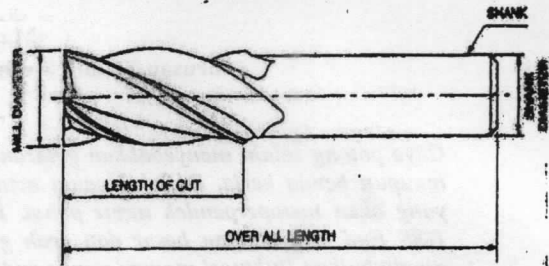
Defleksi yang terjadi pada suatu proses pemesinan dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya penentuan kondisi pemotongan, geometri pahat yang digunakan dan material benda kerja. Pada proses pemesinan Milling dengan menggunakan pahat potong End Mill, panjang efektif pahat terhadap pemegang tool yang digunakan dalam pemotongan akan menentukan kelakuan pahat terhadap defleksi yang terjadi. Besarnya defleksi yang terjadi pada proses *milling* dengan menggunakan pahat potong End Mill tersebut diasumsikan sebagai sebuah batang *Kantilever*, dimana defleksi pada ujung pahat terjadi akibat adanya gaya potong yang terdistribusi sepanjang kedalaman potong tepi pahat terhadap benda kerja [2]. Gambar (2) menunjukkan perubahan tebal geram terhadap yang terjadi akibat penambahan gaya potong.



Gambar 2. Perubahan tebal Geram dalam proses Milling

Pada proses *milling vertikal* akan menyebabkan benda kerja lebih tertekan ke meja dan meja terdorong oleh pahat yang pada suatu saat (secara periodik) gaya dorongnya akan melebihi gaya dorong ulir/roda gigi penggerak maju.

Apabila sistem konvensasi keterlambatan gerak balik (*backlash compensator*) tidak begitu baik maka proses *milling vertikal* akan dapat menyebabkan getaran bahkan kerusakan pada benda kerja [1]. Gambar (3) menunjukkan geometri dari pahat End mill.



Gambar 3. Geometri Pahat End Mill

Gaya pemotongan yang bereaksi pada pahat dan benda kerja selanjutnya akan diteruskan pada bagian-bagian tertentu mesin perkakas yang dapat menyebabkan lenturan. Lenturan yang terjadi ini meskipun kecil sudah cukup untuk menjadi penyebab kesalahan geometri produk maupun getaran yang dapat mempersingkat umur pahat [3].

TEORI DASAR

Material

Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin Universal Milling Machine Spindle taper ISO 40, dengan menggunakan 3 buah pahat HSS End Mill dengan ukuran panjang masing-masing 95 mm, 100 mm, dan 105 mm. Material pahat yang digunakan sebagaimana tercantum dalam Tabel (1) berikut :

Tabel 1. Dimensi dan Material pahat uji

HSS Flat End Mill	
Type	CC- EMS 80740
Tool Material	HSS
Diameter	30 mm
Number of teeth	4
Cutting Speed	30 m/min
Range of axial dept of cut	1 - 55 mm
Helix angle	30°
Spindle Speed	750 rpm
W (mm)	1 - 3 mm
Fz (mm per gigi)	0.12, 0.25 dan 0.3
Modulus Elastisitas	40,65x10 ³ N/m

Benda kerja yang digunakan terbuat dari baja tuang (cast iron) dengan dimensi dan sifat mekanik seperti yang terlihat pada tabel 2.

Tabel 2. Dimensi dan Sifat Mekanik Benda Kerja

Baja tuang (cast iron)	
Type	GG 26
Diameter, mm	100 mm
Panjang	200 mm
Kekuatan tarik (UTS, N/mm ²)	200 BHN

Prosedur Pengujian

Gaya pemotongan pada proses Milling diukur dengan menggunakan Kistler Dinamometer tiga aksis yaitu daya potong utama F_v , gaya pemakanan (F_f) dan gaya pemotongan Radial (F_t) yang dipasang langsung pada spindle mesin. Pembebanan dilakukan dengan memvariasikan kedalaman potong radial dan gerak makan pergigi. Pahat uji dicekam pada spindle dan setting benda kerja tepat berada dibawah pahat. Proses pemotongan dilakukan oleh pahat potong terhadap benda kerja yang diam. Pembebanan yang dilakukan secara vertikal dan bervariasi tersebut menimbulkan defleksi pada pahat potong. Besarnya defleksi kemudian dianalisa dengan menggunakan Metode Elemen Hingga.

Analisa Data

Data yang diperoleh dari kedalaman potong yang diberikan diolah dengan menggunakan persamaan-persamaan sebagai berikut.

Besarnya sudut posisi untuk pemotongan :

$$\text{Sudut masuk } \cos \phi_1 = \frac{d/2 - x}{d/2} = 1$$

$$\text{Sudut keluar } \phi_2 = \frac{d/2 - (x + w)}{d/2} = 0,85$$

$$\text{Sudut bersentuhan } \phi_c = (\phi_2 - \phi_1) \frac{\pi}{180}; \text{rad}$$

Gaya potong tangensial yang terjadi :
Tebal geram setiap saat ; mm

$$h_m = f_z \frac{\cos \phi_c - \cos \phi_2}{\phi_c}$$

Lebar geram setiap saat; mm

$$b_m = \frac{\phi_c \cdot d}{2 \sin \lambda_s}$$

Penampang geram setiap saat :

$$A_m = b_m \cdot h_m$$

Untuk benda kerja dari baja tuang, gaya potong spesifik referensi dan pangkat tebal geram dapat ditentukan dengan persamaan :

$$K_{sm} = k_{s1.1} \cdot h_m^{-p}; \text{N/mm}^2$$

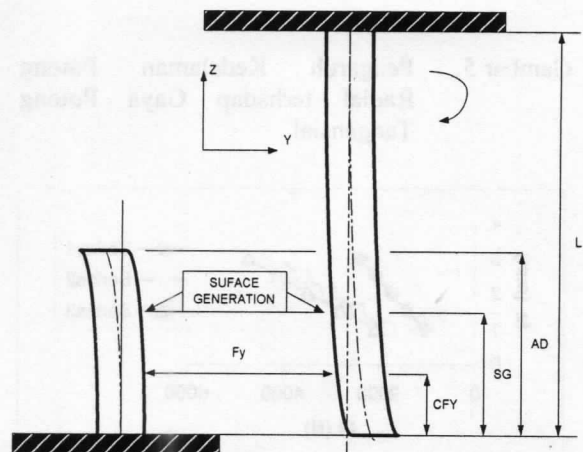
maka besarnya gaya potong tangensial yang terjadi adalah :

$$F_t = k_{s1.1} \cdot h_m^{-p} \cdot A_m; \text{N}$$

Permodelan Matematis

Untuk memprediksikan besarnya defleksi yang terjadi dapat digunakan pengasumsian End Mill tersebut sebagai sebuah batang kantilever, dimana momen yang terjadi ditentukan oleh gaya potong tangensial yang bereaksi pada ujung mata potong pahat dan panjang efektif dari End Mill yang digunakan dengan kondisi sebagai berikut. Misalkan batang diatas mempunyai defleksi y yang berubah sepanjang batang itu jika lendutan kecil, lengkungan batang pada sembarang posisi menurut panjang. Gambar (4) menunjukkan permodelan pahat End Mill sebagai batang kantilever.

$$d_v(Z) = \frac{F_y}{6EI_y} [(CFY - Z)^3 - (L - Z)^3 - 3(L - Z)^2(L - CFY)]$$



Gambar 4. Ilustrasi pahat End Mill sebagai batang kantilever

PEMBAHASAN

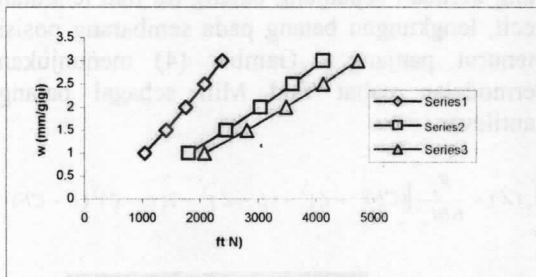
Permodelan Matematis

Dari hasil perhitungan matematis didapatkan gaya potong tangensial sebagaimana tercantum dalam tabel (3) berikut :

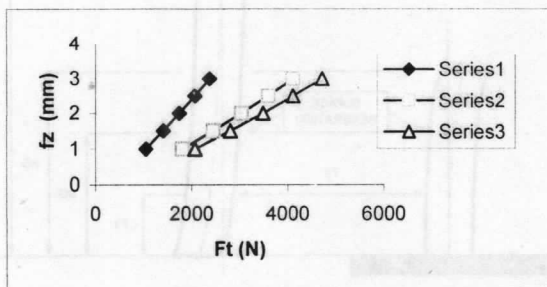
Tabel 3. Hasil Perhitungan Gaya Potong Tangensial Ft (mm/rev).

W (mm)	F _t (mm/rev)		
	F _z =0,12	f _z = 0.25	F _z =0.3
1	1098.53813	1891.02216	2164.1669
1,5	1482.85118	2552.57817	2921.2799
2	1834.89309	3158.58268	3614.8175
2.5	2164.31268	3725.64516	4263.7881
3	2476.90846	4263.74714	4879.6150

Berdasarkan hasil perhitungan Gaya Potong Tangensial Ft (mm/rev) maka dapat dibuat grafik-grafik hubungan gaya potong terhadap Defleksi dengan menggunakan panjang efektif pahat yang berbeda.

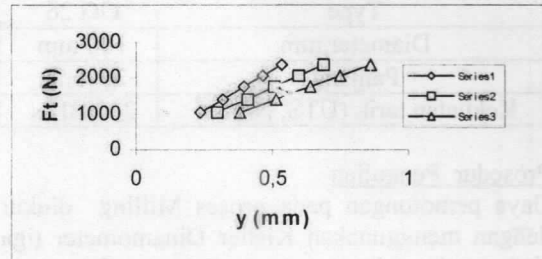


Gambar 5. Pengaruh Kedalaman Potong Radial terhadap Gaya Potong Tangensial.

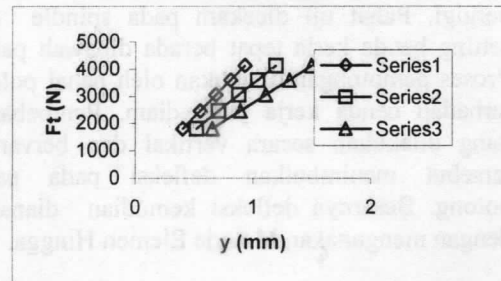


Gambar 6. Pengaruh Gerak Makan per gigi terhadap Gaya Potong Tangensial.

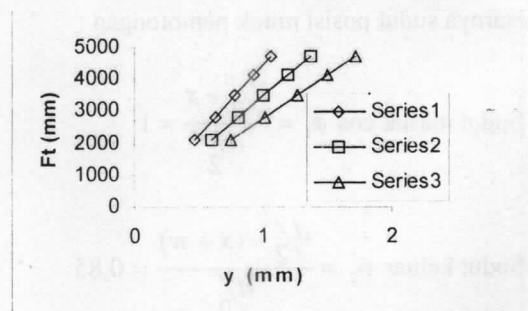
Gambar (5) dan (6) menunjukkan semakin besar kedalaman potong radial dan gerak makan per gigi maka gaya potong tangensial yang terjadi akan semakin besar. Gaya potong ini akan terdistribusi ke masing-masing gigi pada setiap pemotongan geram sesuai dengan posisi putaran pahat.



Gambar 7. Hubungan gaya potong tangensial terhadap defleksi dengan panjang efektif End Mill $L_1 = 95$ mm, L_2 , 100 mm dan $L_3 = 105$ mm



Gambar 8. Hubungan gaya potong tangensial terhadap defleksi dengan panjang efektif End Mill $L_1 = 95$ mm, L_2 , 100 mm dan $L_3 = 105$ mm.



Gambar 9. Hubungan gaya potong tangensial terhadap defleksi dengan panjang efektif End Mill $L_1 = 95$ mm, L_2 , 100 mm dan $L_3 = 105$ mm

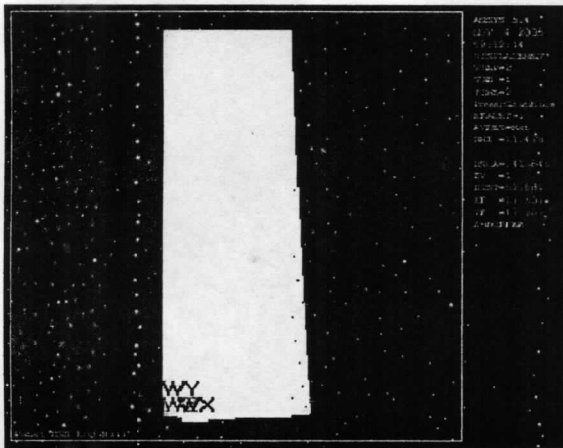
Gambar (7), (8), dan (9) menunjukkan hubungan panjang efektif Pahat HSS end Mill dengan gaya potong tangensial, dimana semakin panjang pahat yang digunakan, maka defleksi yang terjadi semakin besar pula, hal ini dimungkinkan oleh

karena pengaruh momen putar yang bekerja pada pahat.

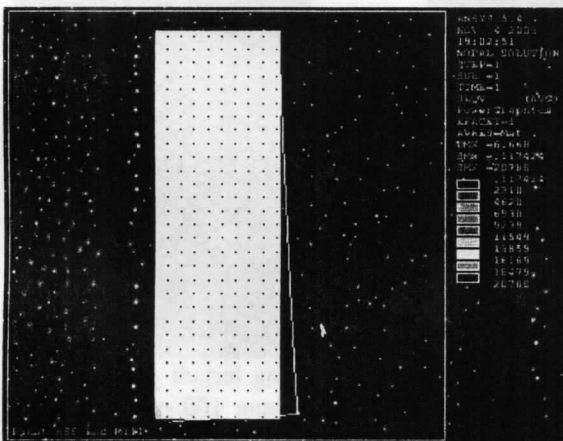
Besarnya defleksi diatas akan didapat korelasi antara besarnya gaya potong yang akan beraksi pada ujung mata pahat dan pengaruh panjang efektif End Mill yang digunakan.

Analisa Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga (ANSYS)

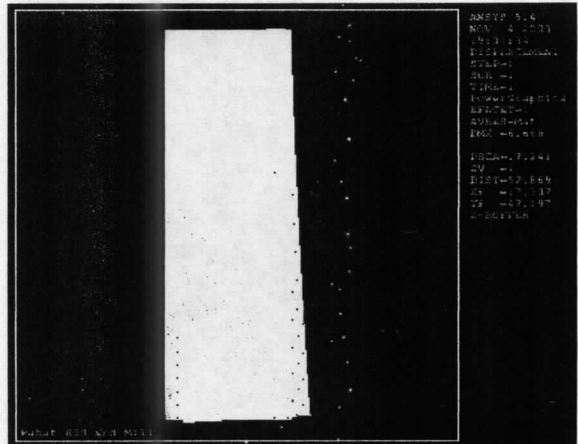
Besarnya defleksi yang terjadi pada pahat HSS End Mill adalah diakibatkan oleh gaya-gaya yang bekerja pada pahat tersebut. Dengan menggunakan analisa FEA (*Finite Element Analysis*) maka didapatkan besarnya defleksi yang terjadi dan bentuk defromasi pahat sebagaimana gambar berikut ;



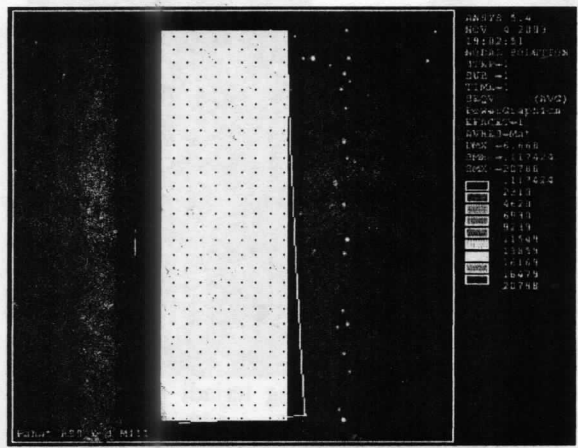
Gambar 10.a. Defleksi Yang terjadi pada Pahat HSS End Mill dengan panjang 95 mm dengan Ft = 1098.5 (mm/rev) dan kedalaman pemakanan W = 1 (mm).



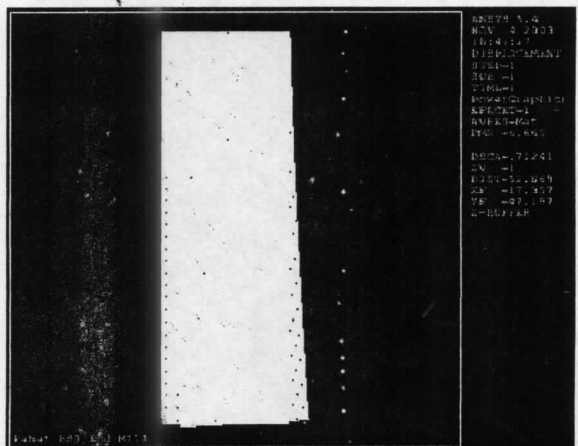
Gambar 10.b. Besarnya Defleksi pada Pahat HSS End Mill.



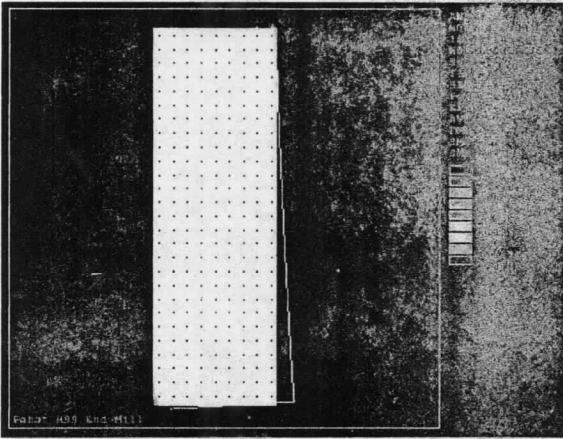
Gambar 11.a. Defleksi Yang terjadi pada Pahat HSS End Mill dengan panjang 95 mm dengan Ft = 1891 (mm/rev) dan kedalaman pemakanan W = 1 (mm).



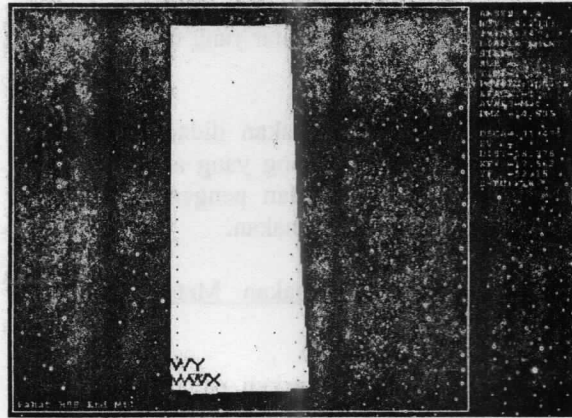
Gambar 11.b. Besarnya Defleksi pada Pahat HSS End Mill.



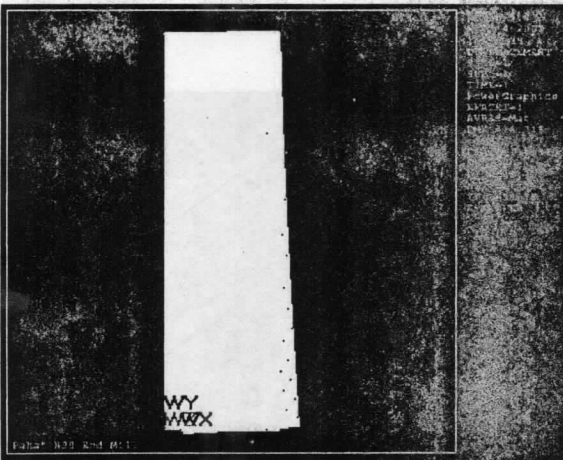
Gambar 12.a. Defleksi Yang terjadi pada Pahat HSS End Mill dengan panjang 95 mm dengan Ft = 2164.2 (mm/rev) dan kedalaman pemakanan W = 1 (mm).



Gambar 12.b. Besarnya Defleksi pada Pahat HSS End Mill.



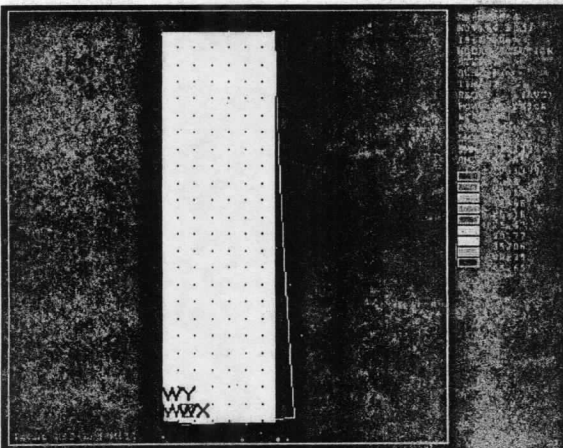
Gambar 14.a. Defleksi Yang terjadi pada Pahat HSS End Mill dengan panjang 100 mm dengan $F_t = 1891$ (mm/rev) dan kedalaman pemakanan $W = 1$ (mm).



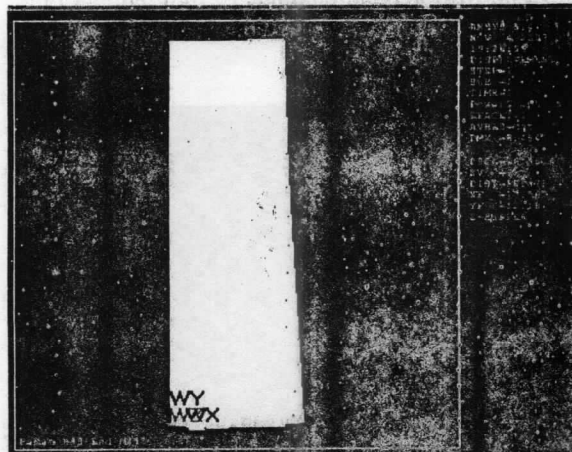
Gambar 13.a. Defleksi yang terjadi pada Pahat HSS End Mill dengan panjang 100 mm dengan $F_t = 1098.5$ (mm/rev) dan kedalaman pemakanan $W = 1$ (mm).



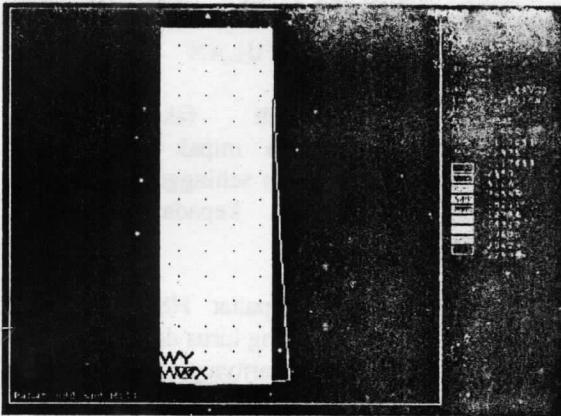
Gambar 14.b. Besarnya Defleksi pada Pahat HSS End Mill.



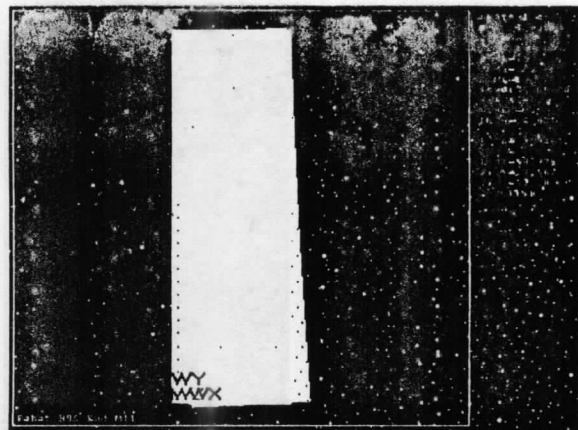
Gambar 13.b. Defleksi yang terjadi pada Pahat HSS End Mill dengan panjang 100 mm dengan $F_t = 1098.5$ (mm/rev) dan kedalaman pemakanan $W = 1$ (mm).



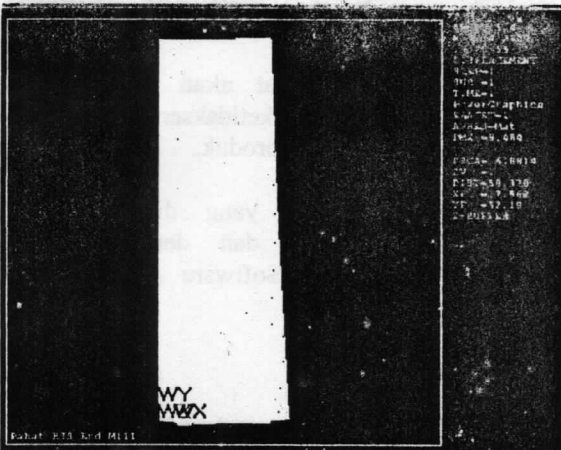
Gambar 15.a. Defleksi Yang terjadi pada Pahat HSS End Mill dengan panjang 100 mm dengan $F_t = 2164.2$ (mm/rev) dan kedalaman pemakanan $W = 1$ (mm).



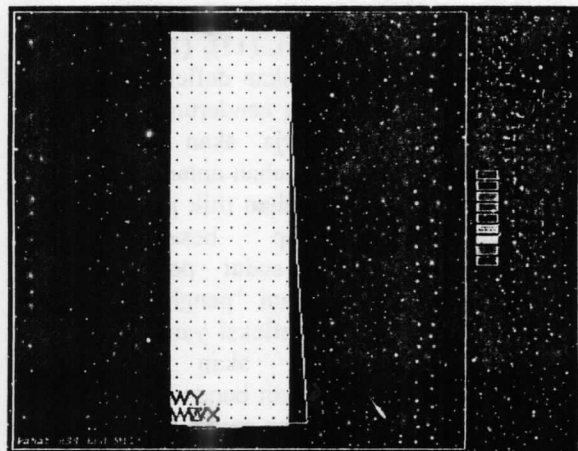
Gambar 15.b. Besarnya Defleksi pada Pahat HSS End Mill.



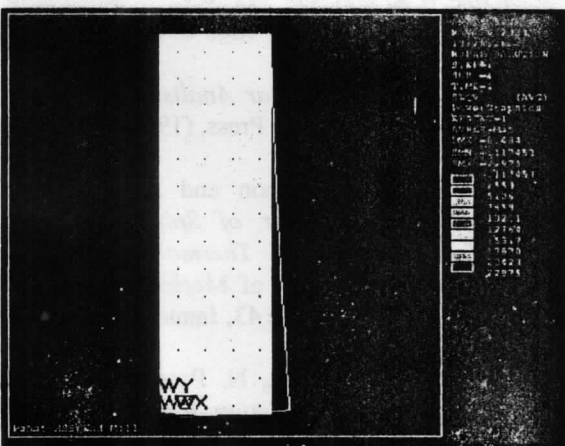
Gambar 17.a. Defleksi Yang terjadi pada Pahat HSS End Mill dengan panjang 105 mm dengan $F_t = 1891$ (mm/rev) dan kedalaman pemakanan $W = 1$ (mm).



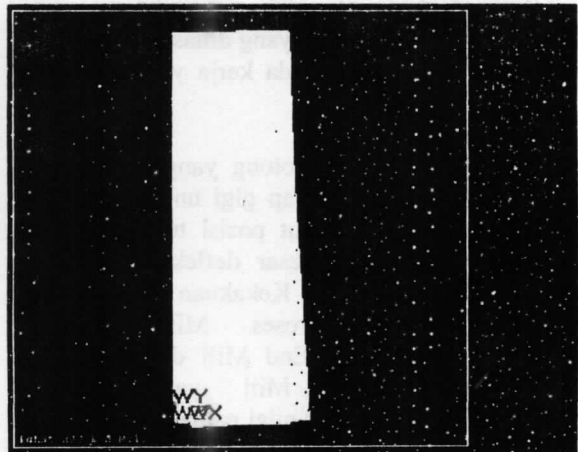
Gambar 16.a. Defleksi yang terjadi pada Pahat HSS End Mill dengan panjang 105 mm dengan $F_t = 1098.5$ (mm/rev) dan kedalaman pemakanan $W = 1$ (mm).



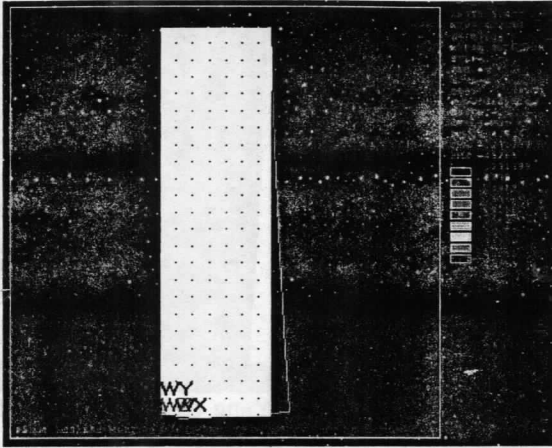
Gambar 17.b. Besarnya Defleksi pada Pahat HSS End Mill.



Gambar 16.b. Besarnya Defleksi pada Pahat HSS End Mill.



Gambar 18.a. Defleksi Yang terjadi pada Pahat HSS End Mill dengan panjang 105 mm dengan $F_t = 2164.2$ (mm/rev) dan kedalaman pemakanan $W = 1$ (mm).



Gambar 18.b. Besarnya Defleksi pada Pahat HSS End Mill.

Gambar (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), dan (18) menunjukkan defleksi pada ujung mata potong pahat yang cenderung memisahkan pahat dan benda kerja akan menyebabkan berubahnya titik persentuhan antara mata potong dan benda kerja. Perubahan titik persentuhan ini berpengaruh terhadap besarnya sudut persentuhan, dimana sudut persentuhan ini berperan penting dalam penghasilan geram selama pemotongan. Defleksi yang terjadi pada ujung mata potong akan menyebabkan penyimpangan pemakanan benda kerja oleh gigi potong sehingga ketebalan geram yang dihasilkan oleh gigi potong selama pemotongan akan berubah. Perubahan tebal geram selama proses pemotongan akibat defleksi tersebut akan mengakibatkan ketidakseragaman kerataan permukaan benda kerja yang dihasilkan, sehingga ketelitian geometri benda kerja yang dihasilkan akan berkurang.

Semakin besar gaya potong yang terjadi, yang harus ditahan oleh setiap gigi untuk melakukan pemotongan pada sudut posisi tertentu putaran pahat, akan memperbesar defleksi pada ujung mata potong pahat. Kekakuan pahat ketika berputar pada proses Milling dengan menggunakan pahat End Mill ditentukan oleh panjang efektif End Mill yang digunakan. Dengan semakin besar nilai panjang efektif pahat maka defleksi pada ujung mata potong yang terjadi akan semakin besar.

KESIMPULAN

1. Pemakanan adalah faktor utama meningkatnya beban impact pada proses pemesinan mula-mula sehingga memberikan kontribusi besar kepada kerusakan terdefleksinya pahat.
2. Besarnya Defleksi pahat HSS End Mill yang terjadi berbanding lurus dengan panjang efektif pahat dan besarnya gaya potong yang diberikan.
3. Defleksi yang besar terjadi pada ujung mata potong yang akan mempercepat keausan mata potong dan ketidakseragaman geram yang dihasilkan.
4. Defleksi pada pahat akan menimbulkan getaran (chatter) ketidakseragaman dan kerataan permukaan produk.
5. Besarnya Defleksi yang diperoleh dari analisa matematis dan dengan analisa yang menggunakan Software Ansys adalah sangat mendekati.

DAFTAR PUSTAKA

1. Rochim Taufiq, "Teori & Teknologi Proses Pemesinan", Higher Education Development Support Project.
2. Kline.W.A dan De For R.E " *Machining Tool* ", ASME, Vol 104.
3. Iremonger MJ, "Dasar Analisis Tegangan" Universitas Indonesia Press, (1990).
4. Tae jo Ko, Tae-Weon and Jae-yong Ha, "Particular Behavior of Spindle Thermal Deformation by Thermal Bending" International Journal of Mechine Tools and Manufacture, Volume 43, Januari 2003.
5. J.E Kaye, D.H. Yan, N. Poplewell dan S. Balakrishnan, "Prediction Tool Flank Wear Using Spindle Speed Change" International Journal of Mechine Tools and Manufacture, Volume 45, (1995).pp. 107-1098.

6. Moaveni Saeed, " *Finite elemen Anaysis (Theory and Aplication with ANSYS*", Prentice Hall New Jersey (1999).
7. K. Jemielnia, " *Detection of Cutting Edge Breakage in Turning*" Annals of CIRP Vol. 36,1,1987, pp.97-100.
8. T.Shibasaka and H. Hashimoto, " *Analysis of brittle Fracture of Cutting Tools based on Fracture Mechanics*" Annals of CIRP, Vol 37,1,1988,pp.37-41.
9. T.N. Loladze, " *Nature of Britle failur of Cutting Tools*", Annals of CIRP, Vol.24,1,1975.pp.13
10. J. Tlustyand Z. Masood, " *Chipping and Breakage of Carbide Tools*", J. Eng. For Industry Vol. 100, 1978,pp.403-412.