

Pengaruh Variasi Kecepatan Pemakanan (*Feed Rate*) terhadap Gaya Potong Proses Gurdi dengan Material Aluminium

Fitria Nofita Sari^a, Agus Susanto^{a,*}, Wida Yuliar Rezika^a, Josia Adya Putra^a, Muhammad Adhi Maulana^a

^aProdi Teknik Perkeretaapian, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Madiun
Kampus 2, Jl. Ring Road Barat, Winongo, Kec. Manguharjo, Kota madiun, Jawa Timur 63162

*E-mail: agus_eng.dept@pnm.ac.id

Abstract

Drilling process is one of the important machining processes for making holes in the workpiece using a drill bit. During the drilling process, the workpiece are generated a cutting forces. Cutting forces that are influenced by several parameters including type of material, cutting speed, tool geometry, feed rate, and the cooling method. Cutting forces are one of the most parameters that can be used to monitor the drilling conditions, avoid cutting tool damage, and improve the quality of the drill hole results. This article discusses the effect of feed rate variations on the cutting forces. Finite Element Method (FEM) are used for analyzing the cutting force in drilling of Aluminum using carbide cutting tool. The results show that the greater the value of the feed rate, the greater the value of the cutting force. So can be concluded that the feed rate affects the cutting force.

Keywords: cutting force; drilling process; feed rate variations; finite element method

Abstrak

Proses gurdi merupakan salah satu proses pemesinan yang penting untuk membuat lubang pada benda kerja dengan menggunakan mata bor. Selama proses gurdi, benda kerja menghasilkan gaya potong. Gaya potong dipengaruhi oleh beberapa parameter antara lain jenis material, kecepatan potong, geometri pahat, kecepatan pemakanan, dan metode pendinginan. Gaya potong merupakan salah satu parameter yang dapat digunakan untuk memantau kondisi dari proses gurdi, menghindari kerusakan pahat, dan meningkatkan kualitas lubang hasil penggurdian. Artikel ini membahas pengaruh variasi kecepatan pemakanan (*feed rate*) terhadap gaya potong. *Finite Element Method* (FEM) digunakan untuk menganalisis gaya potong pada penggurdian Aluminium menggunakan pahat karbida. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar nilai *feed rate* maka semakin besar pula nilai gaya potong. Jadi dapat disimpulkan bahwa *feed rate* mempengaruhi gaya potong.

Kata kunci: gaya potong; metode elemen hingga; proses gurdi; variasi kecepatan pemakanan

1. Pendahuluan

Pemesinan adalah bagian utama dari pengerjaan logam yang memegang peranan penting, dimana proses pemesinan ini akan mungkin menjadi proses terakhir (*finishing step*) dalam rantai proses manufaktur. Pentingnya proses pemesinan dalam sistem manufaktur modern semakin meningkat, dikarenakan kebutuhan untuk meningkatkan kinerja teknologi operasi pemesinan yang dapat dinilai dari suhu pemotongan, gaya potong, umur pahat, dan permukaan akhir dari proses pemesinan [1]. Diantara banyak proses pemesinan yang ada, proses penggurdian (*drilling*) menjadi salah satu proses yang banyak dilakukan.

Penggurdian adalah proses pemotongan untuk membuat lubang penampang melingkar dengan menggunakan mata bor dan merupakan salah satu proses pemesinan penting yang memiliki aplikasi yang luas [2]. Selama proses gurdi berlangsung, benda kerja atau material menghasilkan gaya potong yang merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk memantau kondisi proses pemesinan dan menganalisis konsumsi daya potong selama proses gurdi. Gaya potong umumnya dipengaruhi oleh beberapa parameter diantaranya adalah jenis material, kecepatan potong (*cutting speed*), kedalaman pemotongan (*depth of cut*), geometri pahat, kecepatan makan (*feed rate*) dan pendinginan benda kerja [3]. Gaya potong proses gurdi terurai menjadi komponen gaya tangensial (F_y), gaya radial (*radial force*) (F_x), dan gaya dorong (*thrust force*) (F_z). Selain melalui pengukuran, gaya potong ini dapat diprediksi agar dapat digunakan untuk mengoptimalkan proses gurdi, meningkatkan kualitas hasil gurdi, dan mengetahui keausan pahat. Data-data mengenai proses pemesinan termasuk gaya potong tidak dapat ditransfer dari mesin ke mesin, sehingga setiap pengguna harus memiliki data proses pemesinannya masing-masing. Oleh karena itu perlu dilakukan simulasi proses pemesinan guna memprediksi gaya potong. Ni et al. [4] menyatakan bahwa penurunan *feed rate* dan peningkatan *cutting speed* akan mengurangi gaya potong dan torsi. Yasar et al. [5] menyatakan bahwa parameter proses gurdi yaitu *cutting speed* dan *feed rate* sangat berpengaruh terhadap peningkatan *thrust force*. Ahmed [6] menyatakan bahwa peningkatan *feed rate* dan *cutting speed* akan meningkatkan *thrust force* dan torsi. Susanto et

al [7] mengamati pengaruh parameter proses pemesinan terhadap gaya potong temperatur, dan *power* pada proses bubut menggunakan *Finite Element Method* (FEM).

Tujuan dari penelitian ini adalah mensimulasikan gaya potong proses gurdi akibat perubahan *feed rate* dengan menggunakan Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*).

2. Material dan metode penelitian

A. Material Benda Kerja dan Drill Bit

Material benda kerja yang digunakan adalah aluminium. Aluminium adalah logam melimpah yang dalam pengaplikasiannya cukup luas digunakan nyaris di semua aspek kehidupan, contohnya aluminium digunakan dalam industri penerbangan (*aircraft*), industri perkeretaapian, bahan pembuatan alat medis. Material *drill bit* yang digunakan adalah *carbide* dengan diameter 8 mm. Spesifikasi material aluminium dapat dilihat pada **Tabel 1**, dan spesifikasi material carbide dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 1. Karakteristik Material Aluminium

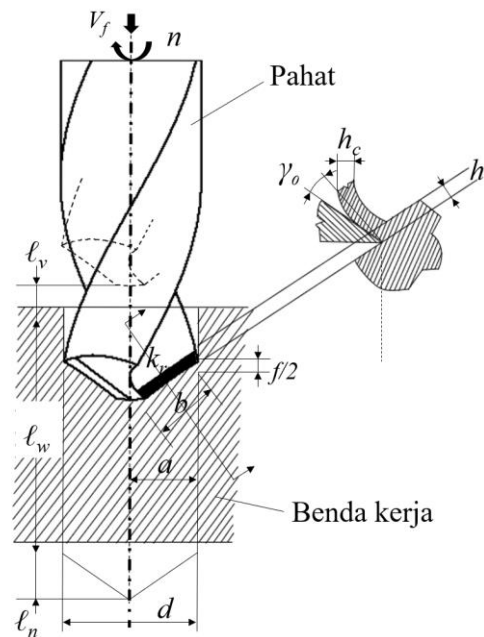
Sifat – sifat	Aluminium
Struktur kristal	FCC
Densitas pada 20°C	2.698 10 ³ kg/m ³
Titik cair	660.1°C
Konduktifitas panas 20°~400°C	238 W/m·K
Modulus elastisitas	70.5 GPa
Kekakuan	26.0 GPa

Tabel 2. Karakteristik Material Carbide

Sifat – sifat	Carbide
Struktur kristal	Hexagonal
Densitas	15.7 g/cm ³
Titik cair	2785 °C
Konduktifitas panas	85 W/m·K
<i>Tensile strength</i>	350 MPa
Kekakuan	530-700 MPa

B. Proses Gurdi dan Persamaan Gaya Potong

Proses gurdi dimaksudkan sebagai proses pembuatan lubang bulat dengan menggunakan mata bor (*twist drill*). Ketika proses gurdi berlangsung, beram dapat keluar melalui galur pahat. Selama proses gurdi, terdapat banyak parameter yang terlibat, seperti yang terlihat pada **Gambar 1**. Berdasarkan **Gambar 1**, pahat dengan diameter (*d*), gerak makan (*f*), dan kedalaman potong (*a*) untuk melubangi benda kerja dengan ketebalan *ℓ_w*. Hasil langsung dari proses ini adalah beram (*chip*) dengan lebar beram (*b*) yang mana beram ini dapat diorientasikan pada **Gambar 1** tersebut. Terlihat bahwa beram juga mempunyai ketebalan sebelum terpotong (*uncut chip thickness*) (*h*) dan ketebalan saat terpotong (*chip thickness*) (*h_c*).



Gambar 1. Parameter proses gurdi dan orientasi *chip* saat memotong benda kerja

Berdasarkan parameter-parameter tersebut, elemen proses gurdi dapat ditemukan diantaranya [8];

Kecepatan potong (v_c)

$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}; \text{ m/min} \quad (1)$$

kecepatan pemakanan

$$v_f = f \cdot n \cdot z; \text{ mm/min} \quad (2)$$

dimana z adalah mata pahat (*cutting edges*) dengan jumlah 2 mata pahat.

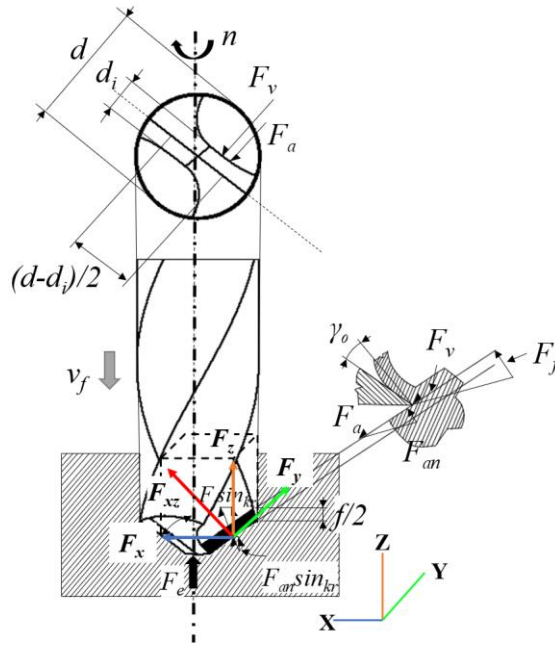
waktu pemotongan

$$t_c = l_w / v_f; \text{ min} \quad (3)$$

kecepatan penghasilan geram

$$Z = \frac{\pi d^2}{4} \frac{v_f}{1000}; \text{ cm}^3/\text{min} \quad (4)$$

Selain itu, parameter dan elemen proses gurdi tersebut juga menentukan gaya potong yang merupakan salah satu indikator kinerja pemrosesan yang paling penting. Secara teknis, gaya potong mewakili aksi pemotongan material benda kerja ketika bersentuhan dengan *cutting edge*, dan juga menggambarkan jumlah daya yang dikonsumsi dan energi yang dibutuhkan untuk memotong bahan dan geometri yang diinginkan [9]. Representasi generik dari komponen gaya potong dapat dilihat pada **Gambar 2**. Gaya tersebut terurai menjadi komponen gaya tangensial (F_y), gaya radial (*radial force*) (F_x), dan gaya dorong (*thrust force*) (F_z).



Gambar 2. Komponen gaya potong yang terjadi selama proses gudi

Rumus gaya tangensial yaitu [8];

$$F_t = F_v + F_\alpha ; N \quad (6)$$

dimana

$$F_v = \text{gaya potong, dengan persamaan} \\ = \tau_{shi} \frac{d - d_i}{2} \frac{f}{2} \frac{\cos(\eta - \gamma_o)}{\sin \phi \cos(\phi + \eta - \gamma_o)} ; N \quad (7)$$

F_α = gaya gesek pada bidang utama, tergantung pada gaya gesek spesifik persatuan panjang aktif mata potong (k_f ; N/mm) yang dipengaruhi oleh geometri pahat, benda kerja, cairan pendingin, dan kondisi pemotongan.

$$= k_f \frac{d - d_i}{2 \sin k_r} ; N \quad (8)$$

maka,

$$F_t = \tau_{shi} \frac{d - d_i}{2} \frac{f}{2} \frac{\cos(\eta - \gamma_o)}{\sin \phi \cos(\phi + \eta - \gamma_o)} + k_f \frac{d - d_i}{2 \sin k_r} ; N \quad (9)$$

Momen torsi yang diperlukan untuk memutar pahat gudi adalah,

$$M_t = F_t \frac{d + d_i}{2} ; N \text{ mm} \quad (10)$$

Gaya dorong (*thrust force*) yang diperlukan supaya proses pemakanan berlangsung adalah,

$$F_z = 2 F_f \sin k_r + 2 F_{\alpha n} \sin k_r + F_e ; N \quad (11)$$

dimana,

F_z = gaya dorong (*thrust force*) total untuk dua mata potong ; N,

F_f = gaya pemakanan, seperti halnya dalam proses membubut

$$= F_v \tan(\eta - \gamma_o) ; N \quad (12)$$

F_{an} = gaya normal pada bidang utama, tergantung pada gaya normal spesifik persatuan panjang aktif mata potong (k_n ; N/mm) yang dipengaruhi oleh jenis geometri pahat, benda kerja, cairan pendingin dan kondisi pemotongan.

$$= k_n \frac{d-d_i}{2 \sin k_r} ; N \tag{13}$$

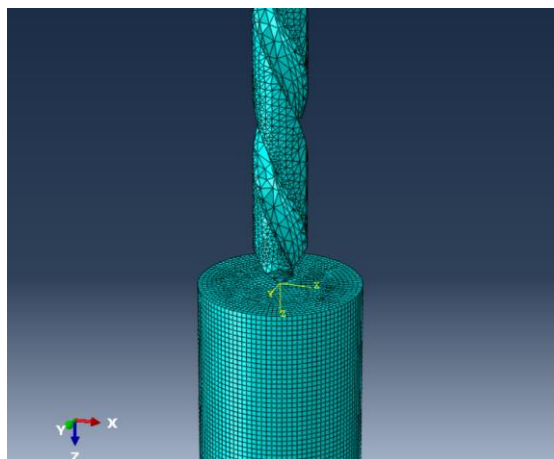
F_e = gaya ekstruksi diujung pahat gurdi, sesuai dengan penampang diameter inti d_i dari hasil percobaan umumnya berharga sekitar 50% s.d. 55% dari gaya tekan total ; N

Oleh sebab itu,

$$F_z = 4 \left\{ F_v \tan(\eta - \gamma_o) \sin k_r + k_n \frac{d-d_i}{2} \right\} ; N \tag{14}$$

C. Finite Element Method (FEM)

Simulasi pemodelan proses gurdi (*drilling*) dilakukan dengan menggunakan Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method (FEM)*). Pemodelan dilakukan dengan menginputkan geometri pahat dan benda kerja pada perangkat lunak berbasis *Finite Element Method*. Pada simulasi ini *twist drill* dimodelkan sebagai *rigid body*. Kontak dan parameter gesekan antar pahat dan benda kerja dipengaruhi oleh sejumlah faktor seperti *cutting speed*, *feed rate*, geometri dan sifat permukaan sebagaimana yang dijelaskan sebelumnya. Pada simulasi ini digunakan koefisien gesekan konstan sebesar 0,3. Interaksi antara benda kerja dan pahat dimodelkan dengan menggunakan kontak *surface-surface kinematic* seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 4**. Simulasi dilakukan dalam tiga variasi. Variasi ke-1 dengan *cutting speed* 100 m/min dan *feed rate* 0,02 mm/rev. Variasi ke-2 dengan *cutting speed* 100 m/min dan *feed rate* 0,06 mm/rev. Variasi ke-3 dengan *cutting speed* 100 m/min dan *feed rate* 0,09 mm/rev sebagaimana dapat dilihat pada **Tabel 3**.



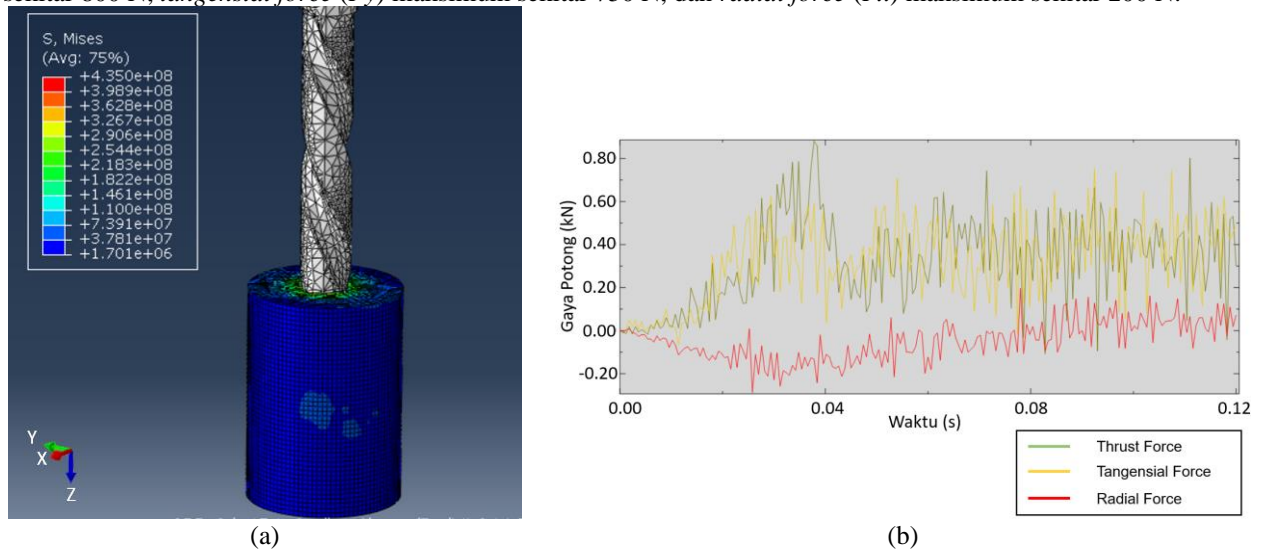
Gambar 4. Tampilan simulasi dari proses gurdi

Tabel 3. Parameter proses yang digunakan dalam simulasi

Parameter	Simbol	Variasi		
		1	2	3
<i>Cutting Speed</i>	V (m/min)	100	100	100
<i>Feed Rate</i>	f (mm/rev)	0,02	0,06	0,09
<i>Feeding Speed</i>	V_f (mm/min)	159,2	477,7	716,5

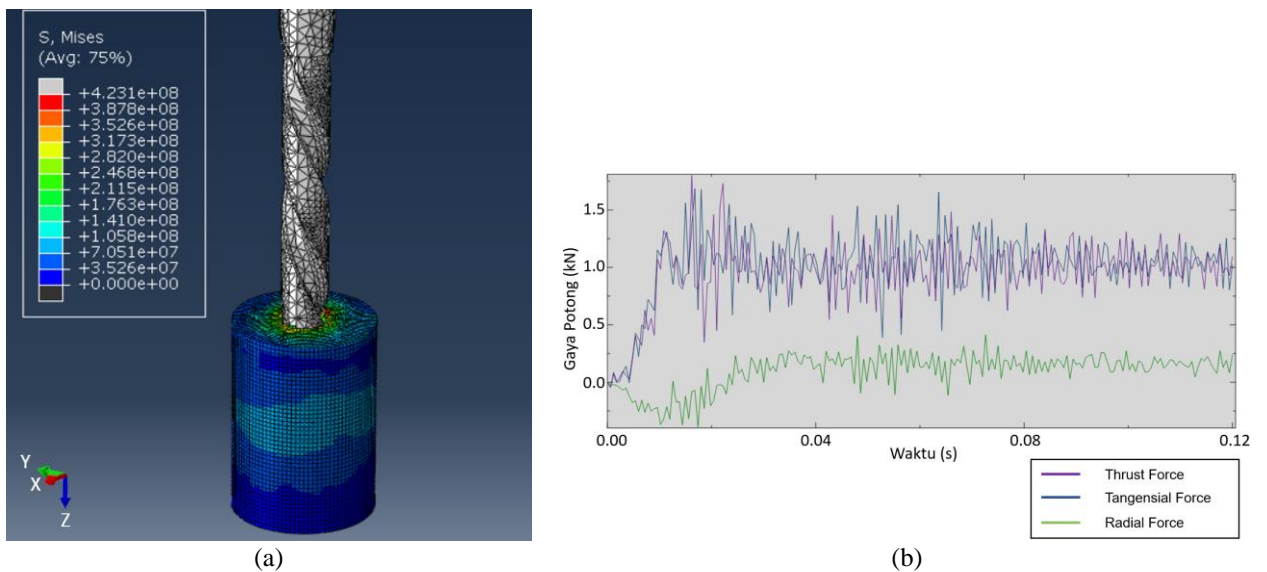
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi gaya potong dari proses gurdi dapat dilihat pada **Gambar 5(a)** yang menampilkan proses simulasi proses gurdi dengan menggunakan *Finite Element Method* (FEM). Sedangkan **Gambar 5(b)** menunjukkan grafik gaya potong dari hasil simulasi proses gurdi variasi ke-1. Didapatkan hasil *thrust force* (F_z) maksimum sekitar 800 N, *tangensial force* (F_y) maksimum sekitar 750 N, dan *radial force* (F_x) maksimum sekitar 200 N.



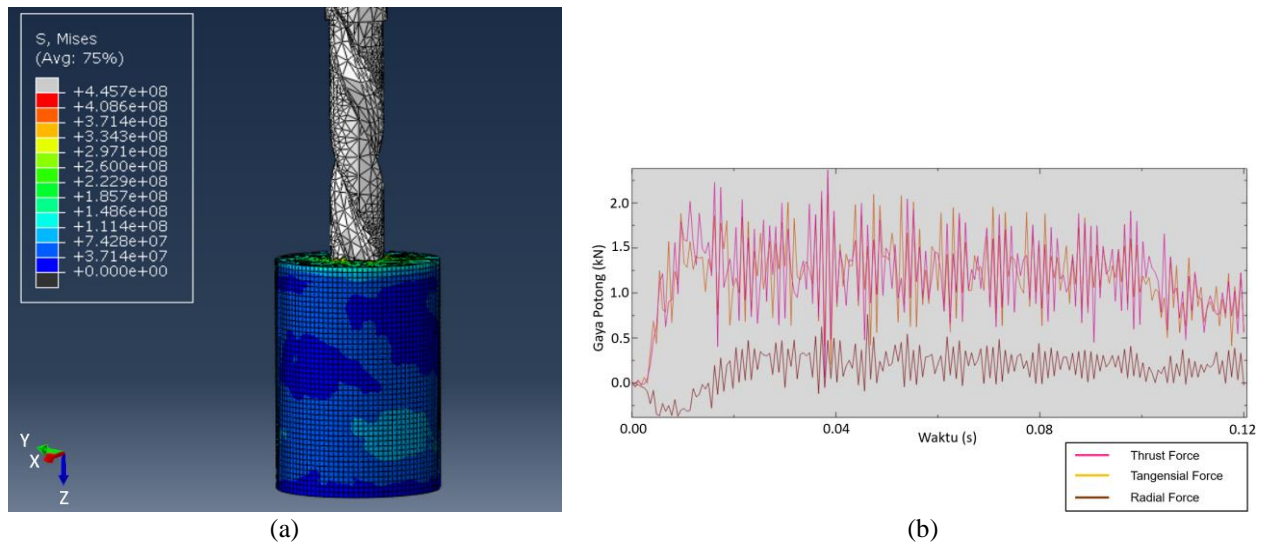
Gambar 5(a), tampilan simulasi variasi ke-1. Sedangkan **Gambar 5(b)**, Grafik gaya potong hasil simulasi variasi ke-1

Hasil simulasi gaya potong dari proses gurdi dapat dilihat pada **Gambar 6(a)** yang menampilkan proses simulasi proses gurdi dengan menggunakan *Finite Element Method* (FEM). Sedangkan **Gambar 6(b)** menunjukkan grafik gaya potong dari hasil simulasi proses gurdi variasi ke-2. Didapatkan hasil *thrust force* (F_z) maksimum sekitar 1500 N, *tangensial force* (F_y) maksimum sekitar 1750 N, dan *radial force* (F_x) maksimum sekitar 400 N.



Gambar 6(a), tampilan simulasi variasi ke-2. Sedangkan **Gambar 6(b)**, grafik gaya potong hasil simulasi variasi ke-2

Hasil simulasi gaya potong dari proses gurdi dapat dilihat pada **Gambar 7(a)** yang menampilkan proses simulasi proses gurdi dengan menggunakan *Finite Element Method* (FEM). Sedangkan **Gambar 7(b)** menunjukkan grafik gaya potong dari hasil simulasi proses gurdi variasi ke-3. Didapatkan hasil *thrust force* (F_z) maksimum sekitar 2500 N, *tangensial force* (F_y) maksimum sekitar 2250 N, dan *radial force* (F_x) maksimum sekitar 800 N.



Gambar 7(a), tampilan simulasi variasi ke-3. Sedangkan **Gambar 7(b)**, grafik gaya potong hasil simulasi variasi ke-3

Dari ketiga variasi simulasi dapat dilihat bahwa peningkatan nilai *feed rate* dari 0,02; 0,06; 0,09 mm/rev akan meningkatkan nilai gaya potong pada proses gurdi. Kemudian nilai *thrust force* memiliki nilai paling tinggi dibandingkan nilai *tangensial force* dan *radial force*. Hal tersebut dikarenakan *thrust force* dipengaruhi oleh gaya makan (gaya makan dipengaruhi oleh *feed rate*), gaya gesek, dan gaya ekstruksi. sebagaimana dapat dilihat pada persamaan 11.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi tersebut disimpulkan bahwa peningkatan nilai *feed rate* akan meningkatkan gaya potong proses gurdi. Dengan hasil simulasi proses gurdi variasi ke-1 didapatkan nilai *thrust force* (F_z) maksimum sekitar 800 N, *tangensial force* (F_y) maksimum sekitar 750 N, dan *radial force* (F_x) maksimum sekitar 200 N. Hasil simulasi proses gurdi variasi ke-2 didapatkan nilai *thrust force* (F_z) maksimum sekitar 1500 N, *tangensial force* (F_y) maksimum sekitar 1750 N, dan *radial force* (F_x) maksimum sekitar 400 N. Hasil simulasi proses gurdi variasi ke-3 didapatkan nilai *thrust force* (F_z) maksimum sekitar 2500 N, *tangensial force* (F_y) maksimum sekitar 2250 N, dan *radial force* (F_x) maksimum sekitar 800 N. Dapat dilihat bahwa *thrust force* memiliki nilai yang paling tinggi dibandingkan *tangensial force* dan *radial force*. Hal tersebut dikarenakan *thrust force* dipengaruhi oleh gaya makan (gaya makan dipengaruhi oleh *feed rate*), gaya gesek, dan gaya ekstruksi. Sebagaimana dapat dilihat pada persamaan 11.

Daftar Pustaka

- [1] G. S. Uttam, G. D. Sonawane, A. D. More, and B. J. Vispute, "A Review on Machining Process and Cooling Techniques in Machining: Milling and Cutting Operation," *Int. J. Curr. Res.*, vol. 7, no. 04, Apr. 2015.
- [2] J. S. Subramanian *et al.*, "Study on Drilling Process Parameters - Review," *Int. J. Eng. Res. Technol. IJERT*, vol. 6, no. 07, 2018.
- [3] F. Ridwan and R. Harvendri, "Perancangan Dinamometer untuk Mengukur Gaya Potong pada Mesin Freis untuk Pemesinan Material Fiber Reinforced Polymer," *Met. J. Sist. Mek. Dan Termal*, vol. 4, Apr. 2020.
- [4] J. Ni *et al.*, "Effect of Drilling Parameters on Machining Performance in Drilling Polytetrafluoroethylene," *Mater.* 2022, vol. 15, no. 19, 2022.
- [5] N. Yasar, M. Boy, and M. Gunay, "The Effect of Drilling Parameters for Surface Roughness in Drilling of AA7075 Alloy," *MATEC Web Conf.*, vol. 112, 2017, doi: 10.1051/mateconf/201711201018.
- [6] N. Ahmed, "Effect of Changing Drilling Parameters on Thrust Force and Torque," *Middle-East J. Sci. Res.*, vol. 21, no. 2, pp. 347–352, 2014, doi: 10.5829/idosi.mejsr.2014.21.02.2008.
- [7] A. Susanto, H. Arrosida, M. F. Subkhan, A. C. Arifin, and M. Azka, "Hubungan Parameter Pemesinan terhadap Gaya Potong, Temperatur, dan Power pada Proses Bubut Inconel 718," vol. 24, no. 3, pp. 43–49, 2022.
- [8] T. Rochim, *Teori & Teknologi Proses Pemesinan*. 1993.
- [9] S. Pervaiz, S. Kannan, and A. Subramaniam, "Optimization of Cutting Process Parameters in Inclined Drilling of Inconel 718 Using Finite Element Method and Taguchi Analysis," *MDPI*, 2020, doi: 10.3390/ma13183995.