

Pengaruh Variasi Kedalaman Potong terhadap Gaya Potong dan Temperatur pada Proses Bubut Baja AISI 304 Berdasarkan Metode Elemen Hingga

Putri Hana Widyaning Mudmainah¹, Agus Susanto^{2*}, Adiratna Ciptaningrum³,
Risma Alfiyani⁴, & Ramadhana Eka Wicaksono⁵

^{1,2,3,4,5} Prodi Teknik Perkeretaapian, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Madiun, Indonesia
Kampus 2, Jl. Ring Road Barat, Winongo, Kec. Manguharjo, Kota Madiun, Jawa Timur 63162
*E-mail: agus_eng.dept@pnm.ac.id

ABSTRACT

Cutting forces are parameters that can be used to optimize the machining process, analyze power consumption, and affect temperature during the lathe process. Measurement of cutting forces using a dynamometer and temperature using a thermocouple is quite expensive. This article discusses the effect of machining parameters on cutting force and temperature on AISI 304 steel workpiece material with carbide insert tool. The method used to analyze cutting forces and temperatures is based on the finite element method (FEM). The results show that the cutting force fluctuates due to the influence of depth of cut. The greater the value of the depth of cut used, the greater the axial cutting force and tangential cutting force. While the temperature does not change due to variations in depth of cut. Cutting speed variations do not significantly affect the cutting force, but affect the cutting time and temperature. The greater the cutting speed value used, the greater the temperature produced and the less cutting time required.

Keywords : *Cutting Forces; Cutting Temperature; Turning Process; 304-Stainless Steel; Finite Element Simulation*

PENDAHULUAN

Pada dunia industri manufaktur, pemesinan merupakan salah satu dari rantai proses yang mempunyai peran penting dalam proses produksi terutama dalam tahap penyelesaian akhir (*finishing step*). Pemesinan merupakan proses menghilangkan sebagian material dari benda kerja awal untuk menghasilkan geometri akhir yang diinginkan. Proses pemesinan mencakup tiga kategori utama yakni proses bubut (*turning*), proses pengeboran (*drilling*), dan proses frais (*milling*)[1]. Proses bubut adalah salah satu proses pemesinan yang paling banyak digunakan dalam aplikasi industri. Proses ini melibatkan pemotongan material pada permukaan luar dalam benda kerja yang berbentuk silinder[2]. Material Baja AISI 304 cukup sering digunakan dalam proses bubut. Baja tipe 304 termasuk jenis baja austenitik, yang merupakan jenis struktur molekul yang terbuat dari campuran paduan besi-kromium-nikel. Hal ini membuat baja 304 memiliki sifat non-magnetik sehingga dapat menahan berbagai tingkat paparan korosi. Baja AISI 304 dapat digunakan untuk pengelasan fusi dan pengerjaan dingin untuk meningkatkan kemampuan mengeras, juga memiliki kemampuan mesin yang baik[3].

Saat proses bubut berlangsung, material yang terpotong akan menghasilkan gaya potong. Besarnya gaya potong dipengaruhi oleh beberapa parameter yaitu, kecepatan pemotongan, gerak pemakanan, kedalaman pemotongan, alat potong atau pahat, material benda kerja, dan cara pendinginan[4]. Gaya potong (*cutting force*) merupakan salah satu parameter yang bisa digunakan untuk mengoptimalkan proses pemesinan pada mesin bubut dan menganalisis konsumsi daya potong selama proses bubut. Gaya potong yang dihasilkan pada proses bubut ada tiga macam, yaitu gaya tangensial, gaya aksial, dan gaya radial[5]. Gaya tangensial yaitu gaya yang dihasilkan pada arah kecepatan potong, gaya aksial yaitu gaya yang terjadi pada arah gerak makan, sedangkan gaya radial yaitu gaya yang arahnya menuju bidang normal pada kecepatan potong. Gaya potong akan memberikan informasi vital dalam desain, pemodelan, dan kontrol proses pemesinan. Gaya potong berperan dalam menentukan kualitas permukaan hasil proses pemesinan, memprediksi keausan pahat, dan akhirnya bisa memperkirakan energi yang dibutuhkan serta biaya yang harus

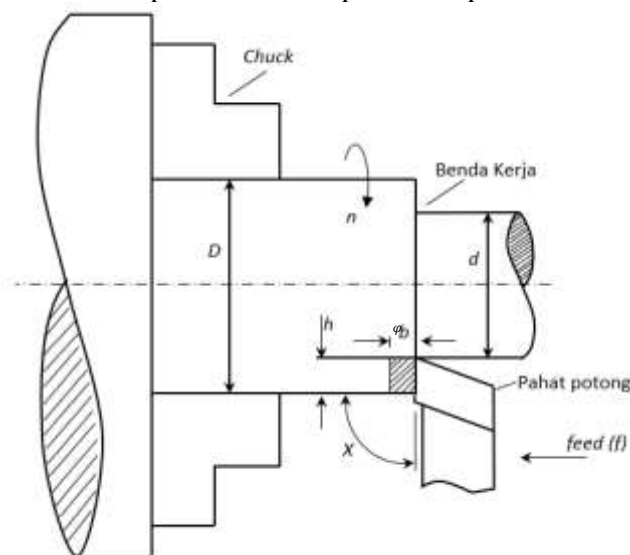
dikeluarkan dalam memotong material atau benda kerja. Data-data mengenai proses pemesinan termasuk gaya potong tidak dapat ditransfer dari mesin ke mesin, sehingga setiap pengguna harus memiliki data proses pemesinannya masing-masing. Oleh karena itu perlu dilakukan simulasi proses pemesinan guna mendapatkan perkiraan gaya potong untuk setiap kondisi. Beberapa tinjauan literatur menunjukkan pengaruh dari parameter pemotongan terhadap gaya potong. Korkmaz et.al [6] menyatakan bahwa kedalaman potong dan kecepatan potong memiliki pengaruh yang signifikan terhadap gaya potong dan konsumsi daya. Iynen et al [7] menemukan bahwa gaya potong yang dihasilkan akan meningkat seiring dengan meningkatnya gerak makan (*feed rate*). Susanto et al [8] mengamati pengaruh parameter proses pemesinan terhadap gaya potong temperatur, dan *power* pada proses bubut menggunakan *Finite Element Method* (FEM).

Dalam artikel ini, dengan bantuan perangkat lunak berbasis FEM model proses bubut dibuat dan digunakan untuk mempelajari pengaruh salah satu parameter pemotongan berupa kedalaman potong (*depth of cut*) terhadap gaya potong dan temperatur. Untuk mendapatkan hasil yang sesuai pada FEM, maka untuk material pahat dan benda kerja akan diperhatikan dengan sangat rinci.

METODE PENELITIAN

A. Proses Bubut dan Persamaan Gaya Potong

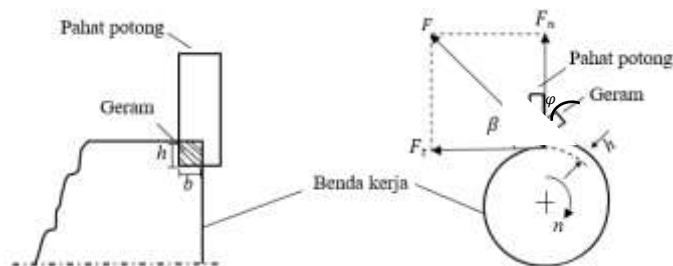
Proses bubut (*turning proses*) ialah suatu metode pemesinan dengan memotong benda kerja yang melakukan gerakan memutar, sementara pahat menyayat dengan melakukan gerakan linier terhadap benda kerja. Proses bubut digunakan untuk penyayatan permukaan eksternal dan internal dari benda kerja [9]. Gerak dasar dari proses bubut, dapat dilihat pada Gambar 1 berikut;



Gambar 1. Elemen dasar dari proses bubut

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa gerak utama adalah gerak putar benda kerja (n) pada sumbu putar. Kemudian untuk gerak bantu adalah gerak linier pahat atau yang biasa disebut dengan gerak makan (f). Benda kerja yang dihasilkan pada tahap akhir proses bubut akan memiliki diameter akhir (d) dari diameter awal (D). Proses bubut dapat diklasifikasikan menurut arah pemakanan pahat antara lain; proses bubut lurus (*straight turning*) terjadi ketika arah gerak makan sejajar dengan sumbu putar benda kerja. Proses bubut konis (*taper turning*) terjadi ketika arah gerak makan pahat bersinggungan dengan sumbu putar benda kerja. Proses bubut melintang (*traverse turning*) terjadi ketika arah gerakan umpan pahat tegak lurus dengan sumbu putar benda kerja.

Persamaan gaya potong diperlukan dalam mensimulasikan gaya potong pada proses bubut. Dalam penelitian ini gaya potong akan disimulasikan dengan variasi dari parameter kedalaman potong. Hubungan mengenai kedalaman potong dan gaya potong pada proses bubut dapat dilihat pada Gambar 2[10].



Gambar 2. Proses Bubut Pematangan *Orthogonal*. (a) Gaya potong pada arah aksial dan tangensial (b) lebar dan tinggi geram

Berdasarkan gambar diatas, pahat dengan mata potong tunggal (*single point cutting tool*) akan bergerak untuk meraut benda kerja sebesar f (mm/min) dan benda kerja akan berputar dengan kecepatan putar sebesar n (rpm). Pada Gambar 2 juga dapat diidentifikasi mengenai sudut potong utama (φ) antara resultan gaya potong (F) dengan gaya potong arah aksial (F_n) dan kedalaman potong h (mm) untuk pemakanan yang dilakukan setiap putaran dalam proses bubut. Berdasarkan parameter diatas, kedalaman potong h (mm) dapat dinyatakan dengan

$$h = f \cdot \sin \varphi \quad (1)$$

dengan φ adalah sudut potong utama dan f ialah gerak makan pahat potong yang merupakan hubungan antara kecepatan pemakanan V_f (mm/min) dengan kecepatan putar sebesar n (rpm) yang dinyatakan dengan

$$f = \frac{V_f}{n} \quad (2)$$

Pada Gambar 2 tampak samping, dapat diidentifikasi ketinggian geram h (mm) dan lebar geram b (mm) yang merupakan luas area geram (A) dari material yang akan diperlakukan proses penyayatan oleh pahat potong yang dinyatakan dengan

$$A = b \cdot h \quad (3)$$

Gaya potong pada proses bubut dapat diperkirakan dari hasil luas area geram (A) dan koefisien empiris. Koefisien yang bergantung pada proses ini disebut sebagai gaya potong spesifik (K_s) yang dinyatakan dengan

$$K_s = \frac{F}{A} \quad (4)$$

Nilai luas area geram (A) merupakan perkalian dari ketinggian geram h (mm) dan lebar geram b (mm) maka persamaan 4 dapat ditulis ulang menjadi

$$K_s = \frac{F}{b \cdot h} \quad (5)$$

Dengan koefien gaya potong spesifik (K_s) tergantung pada material benda kerja, geometri pahat, kecepatan potong, dan ketebalan dari geram[10]. Dari persamaan 5 didapatkan bahwa gaya potong pada proses bubut dapat dipengaruhi oleh variasi dari parameter kedalaman potong. Kemudian gaya potong *orthogonal* (F) pada proses bubut dapat diproyeksikan menjadi gaya potong arah aksial (F_n) dan gaya potong arah tangensial (F_t) seperti pada Gambar 2(a). Berdasarkan gambar tersebut didapatkan persamaan untuk masing-masing gaya potong sebagai berikut

$$F_t = F \cdot \sin \varphi = K_s \cdot A \cdot \sin \varphi = K_s \cdot b \cdot h \cdot \sin \varphi = k_t \cdot b \cdot h \quad (6)$$

dan

$$F_n = F \cdot \cos \varphi = K_s \cdot A \cdot \cos \varphi = K_s \cdot b \cdot h \cdot \cos \varphi = k_n \cdot b \cdot h \quad (7)$$

dengan k_r dan k_n didefinisikan sebagai koefisien gaya potong yang diperoleh dari gaya potong spesifik (K_s) dan sudut potong utama (φ) dengan satuan untuk k_r , k_n , dan K_s adalah N/mm^2 .

B. Material Benda Kerja dan Pahat

Baja AISI 304 sering diaplikasikan pada dunia industri karena karakteristik kerjanya yang luar biasa, dikombinasikan dengan komposisi dan ketersediaannya yang luas menjadikannya pilihan pertama yang bagus saat memilih baja tahan karat [2]. Simulasi menggunakan Baja AISI 304. Komposisi kimia dari baja AISI 304 ditunjukkan pada Tabel 1. Untuk sifat mekanik baja AISI 304 ditunjukkan pada Tabel 2.

Pada simulasi ini digunakan mata pahat *insert* karbida (*Carbide-General*). Penggunaan pahat karbida ini karena memiliki kekerasan yang tinggi pada rentang temperatur yang luas, modulus elastisitas tinggi, konduktivitas temperatur tinggi, dan ekspansi temperatur rendah menjadikan karbida termasuk bahan perkakas yang paling penting, serbaguna, dan hemat biaya untuk berbagai berbagai aplikasi [11]. Spesifikasi mata pahat yang digunakan pada simulasi ini *cutting of edge* (r) sebesar 0,4, *rake angle* (a) sebesar 5° , dan *relief angle* (b) sebesar 10° . Karakteristik umum dari pahat karbida [2] dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 1. Komposisi Kimia Baja AISI 304

Komponen	C	Cr	Fe	Mn	P	S	Si	Ni
Berat (%)	Maks. 0,08	18-20	66.354- 74	Maks. 2	Maks. 0,045	Maks. 0,03	Maks. 1	8-10,5

Tabel 2. Sifat Mekanik Baja AISI 304

Ultimate Tensile Strength	505 Mpa
Tensile Yield Strength	215 Mpa
Hardness	235
Modulus of Elasticity	193-200 Gpa
Charpy Impact	325

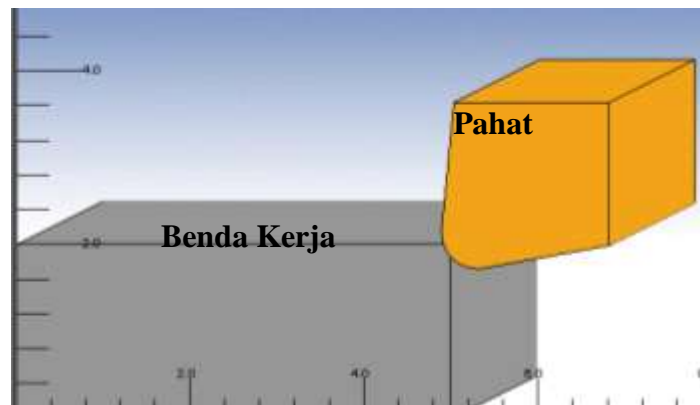
Tabel 3. Karakteristik Umum Pahat *Insert* Karbida [2]

Compressive Strength	4100-5850 Mpa
Hardness	90-95 HRA 1800-2400 HK
Modulus of Elasticity	520-690 Gpa
Impact Strength	0,34-1.25 J
Thermal conductivity	42-125 W/m-K
Coefficient of thermal expansion	$4-6,5 \times 10^{-6}/^\circ C$

C. Finite Element Method (FEM)

Dalam metode eksperimen, proses bubut memiliki tahapan yang sangat rumit sehingga memerlukan waktu yang cukup lama. Oleh karena itu, diperlukan penyederhanaan proses bubut dengan pemodelan dan simulasi. Untuk mempermudah, perangkat lunak berbasis FEM diperlukan dalam penelitian ini untuk mensimulasikan proses bubut *orthogonal*. Benda kerja dimodelkan dalam bentuk 2 dimensi untuk memperoleh visualisasi pemodelan yang lebih jelas. Pada simulasi, proses pemotongan akan melibatkan dua bagian utama yaitu pahat dan benda kerja. Pahat dimodelkan sebagai *rigid body* karena diasumsikan tidak mengalami deformasi saat proses berlangsung. Benda kerja dimodelkan plastis karena benda akan mengalami deformasi plastis. Pemodelan plastis pada benda kerja akan menghasilkan simulasi yang mendekati perlakuan pada

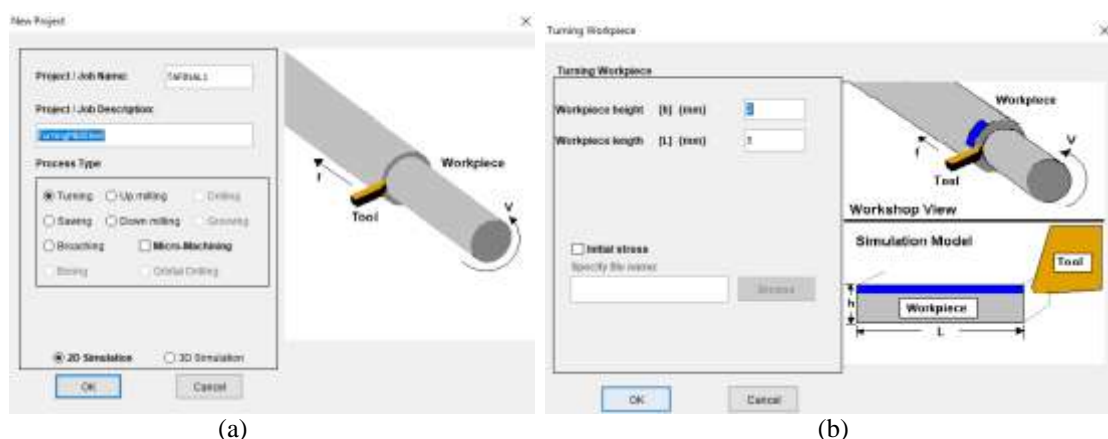
kondisi sebenarnya. Dari simulasi tersebut maka akan menghasilkan gaya potong dan temperatur sebagai hasil dari kontak antara pahat dan benda kerja selama pengoperasian. Pemodelan proses bubut dapat dilihat pada Gambar 3.



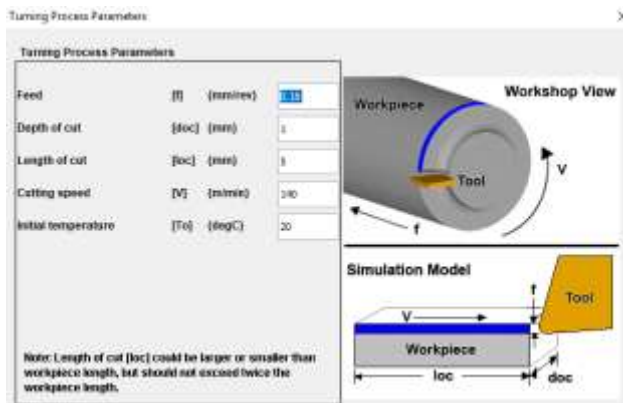
Gambar 3. Pemodelan proses bubut

Selanjutnya dalam proses bubut dengan metode simulasi, langkah awal yang harus dilakukan ialah memilih lembar kerja baru (*new project*) dan pemilihan tipe proses pemesinan yang akan disimulasikan, dimana pada simulasi dipilih proses bubut (*turning*) 2D simulation dapat dilihat pada Gambar 4(a). Pemilihan pemodelan 2 dimensi karena dalam penelitian ini tidak melibatkan variasi sudut miring pahat. Dalam gambar dapat dilihat juga bahwa dalam proses bubut nantinya benda kerja akan berotasi dengan kecepatan putaran *spindle* sebesar v (rpm) dan pahat bergerak menyayat benda kerja sebesar f (mm/rev). Tahap selanjutnya ialah penentuan dimensi material benda kerja yang akan digunakan. Dapat dilihat pada Gambar 4(b) terdapat bagian pada benda kerja yang berwarna biru, bagian tersebut adalah letak dimana pahat akan menyayat benda kerja yang nantinya akan dianalisa gaya potong dan temperturnya. Setelah bagian benda yang akan disayat diperbesar maka akan terlihat dimensi panjang (h) dan dimensi panjang (l). Pada simulasi ini, dimensi diatur menjadi $h = 2$ mm dan $l = 5$ mm.

Selanjutnya proses yang dilakukan sebelum proses simulasi ialah mengatur parameter proses bubut. Simulasi akan dilakukan dengan memvariasikan parameter pemotongan berupa kedalaman potong. Proses pemesinan yang digunakan adalah proses bubut pada pemotongan *orthogonal* dengan parameter proses seperti pada Tabel 4 dan Tabel 5. Pengaturan parameter proses bubut dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 4. Tampilan untuk penentuan tipe proses pemesinan dan tampilan dari pengaturan dimensi material



Gambar 5. Tampilan dari pengaturan parameter proses

Tabel 4. Parameter proses bubut dengan variasi kedalaman potong

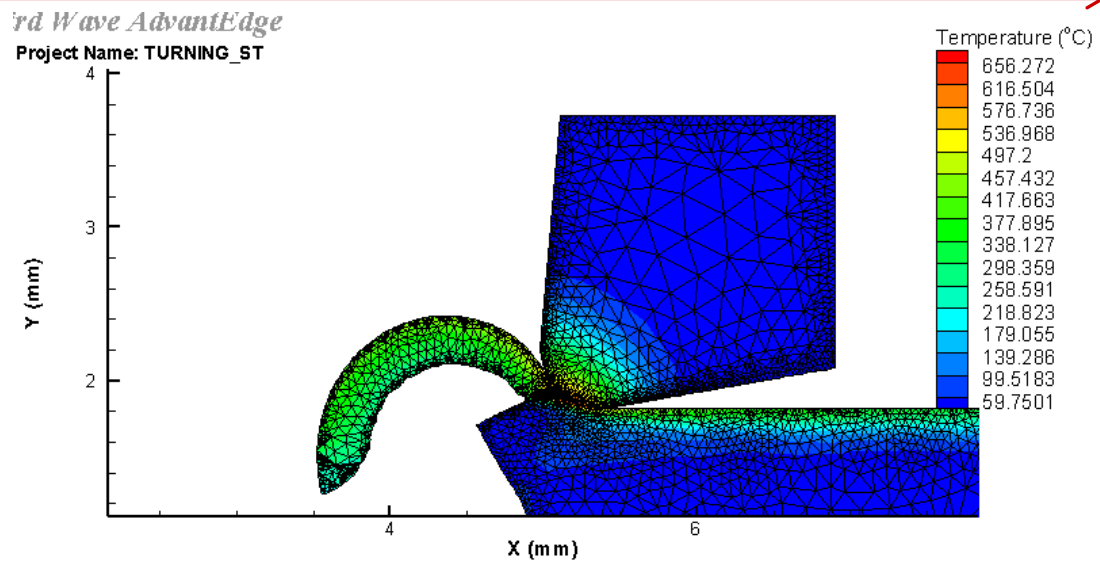
Parameter pemotongan	Simbol	Variasi		
		1	2	3
Kecepatan potong (<i>Cutting speed</i>)	v_c (m/min)	180	180	180
Laju pemakanan (<i>Feed rate</i>)	f (mm/rev)	0,18	0,18	0,18
Kedalaman potong (<i>Depth of cut</i>)	a (mm)	0.5	0,75	1

Tabel 5. Parameter proses bubut dengan variasi kecepatan potong

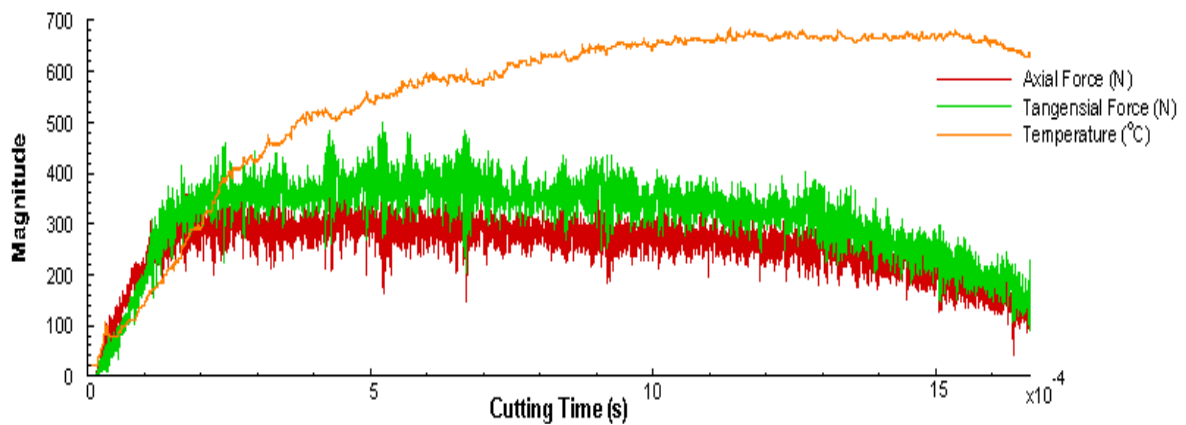
Parameter pemotongan	Simbol	Variasi		
		1	2	3
Kecepatan potong (<i>Cutting speed</i>)	v_c (m/min)	60	120	180
Laju pemakanan (<i>Feed rate</i>)	f (mm/rev)	0,18	0,18	0,18
Kedalaman potong (<i>Depth of cut</i>)	a (mm)	0,75	0,75	0,75

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi gaya potong dan temperatur untuk variasi pertama, yaitu kecepatan potong $v_c = 180$ m/menit, laju pemakan $f = 0,18$ mm/rev, dan kedalaman potong $a = 0,5$ mm ditampilkan pada Gambar 6. Gambar 6(a) menampilkan simulasi proses penyayatan saat proses bubut, dimana terlihat pahat potong dengan posisi pemotongan *orthogonal* menyayat benda kerja yang mengakibatkan perubahan temperatur antara pahat dan benda kerja yang terlihat pada warna material tersebut. *Colorbar* menunjukkan nilai dari perubahan temperatur yang terjadi dimana nilai temperatur tertinggi adalah 656 °C yang terjadi pada ujung kontak antara pahat dan benda kerja. Sedangkan Gambar 6(b) memperlihatkan grafik fluktuasi gaya potong dan temperatur. Terlihat bahwa gaya potong meningkat tajam antara 0 hingga 2×10^{-4} detik, kemudian mengalami kondisi *steady* saat 2×10^{-4} hingga 13×10^{-4} detik, dan setelah itu gaya potong menurun tajam saat pemotongan akan berakhir. Dari grafik tersebut, terlihat juga bahwa gaya potong axial (*axial cutting forces*) lebih kecil dibandingkan dengan gaya potong tangensial (*tangensial cutting forces*) dengan nilai maksimum kurang lebih dari 300 N untuk gaya potong aksial dan 400 N untuk gaya potong tangensial.



(a) Proses penyayatan benda kerja saat simulasi



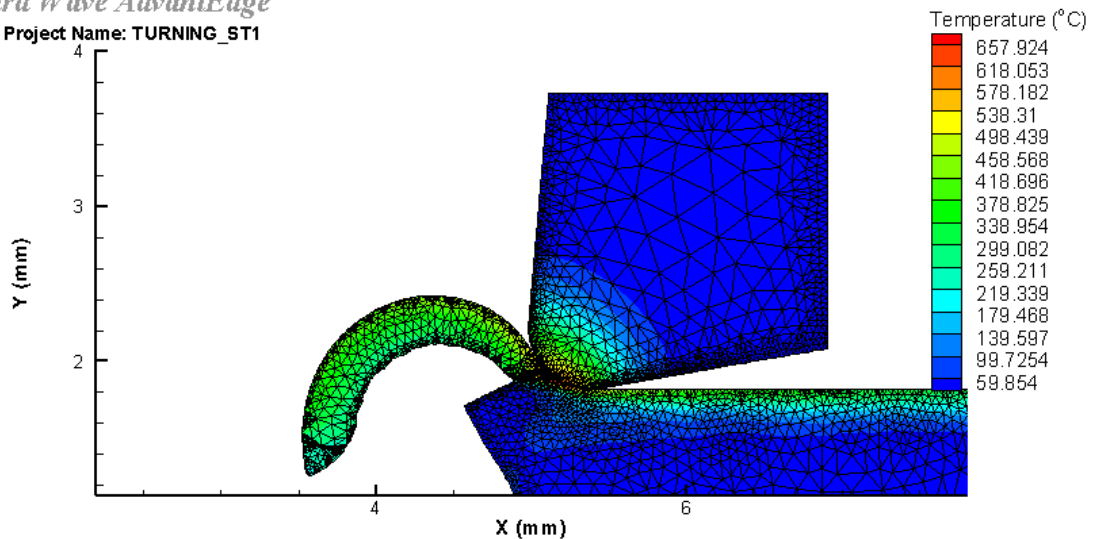
(b) Grafik gaya potong dan temperatur

Gambar 6. Proses dan hasil simulasi untuk variasi pertama dengan kecepatan potong $v_c = 180$ m/menit, laju pemakan $f = 0,18$ mm/rev, dan kedalaman potong $a = 0,5$ mm

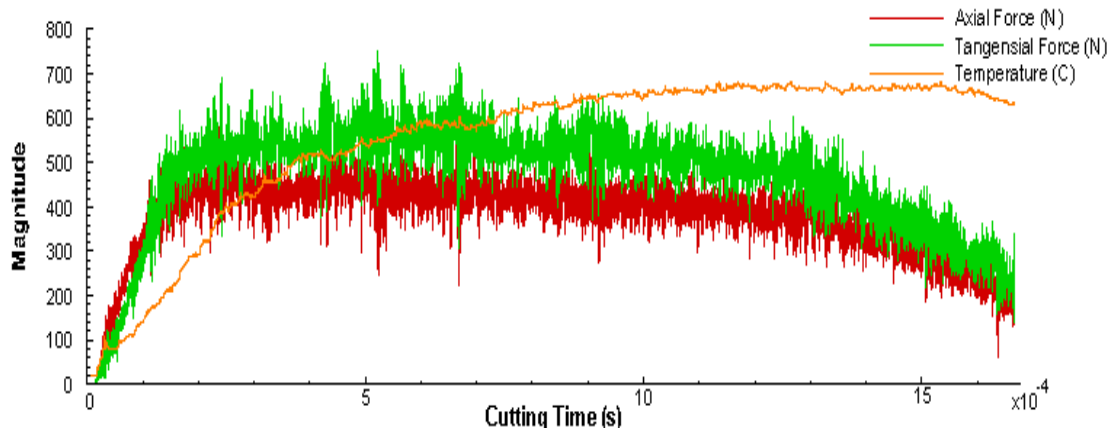
Hasil simulasi gaya potong dan temperatur untuk variasi kedua, yaitu kecepatan potong $v_c = 180$ m/menit, laju pemakan $f = 0,18$ mm/rev, dan kedalaman potong $a = 0,75$ mm ditampilkan pada Gambar 7. Gambar 7(a) menampilkan simulasi proses penyayatan saat proses bubut, dimana terlihat pahat potong dengan posisi pemotongan *orthogonal* menyayat benda kerja yang mengakibatkan perubahan temperatur antara pahat dan benda kerja yang terlihat pada warna material tersebut. *Colorbar* menunjukkan nilai dari perubahan temperatur yang terjadi dimana nilai temperatur tertinggi adalah 657 °C yang terjadi pada ujung kontak antara pahat dan benda kerja. Sedangkan Gambar 7(b) memperlihatkan grafik fluktuasi gaya potong dan temperatur. Terlihat bahwa gaya potong meningkat tajam antara 0 hingga 2×10^{-4} detik, kemudian mengalami kondisi *steady* saat 2×10^{-4} hingga 13×10^{-4} detik, dan setelah itu gaya potong menurun tajam saat pemotongan akan berakhir. Dari grafik tersebut, terlihat juga bahwa gaya potong aksial (*axial cutting forces*) lebih kecil dibandingkan dengan gaya potong tangensial (*tangensial cutting forces*) dengan nilai maksimum kurang lebih dari 450 N untuk gaya potong aksial dan 550 N untuk gaya potong tangensial.

Irda Wave AdvantEdge

Project Name: TURNING_ST1



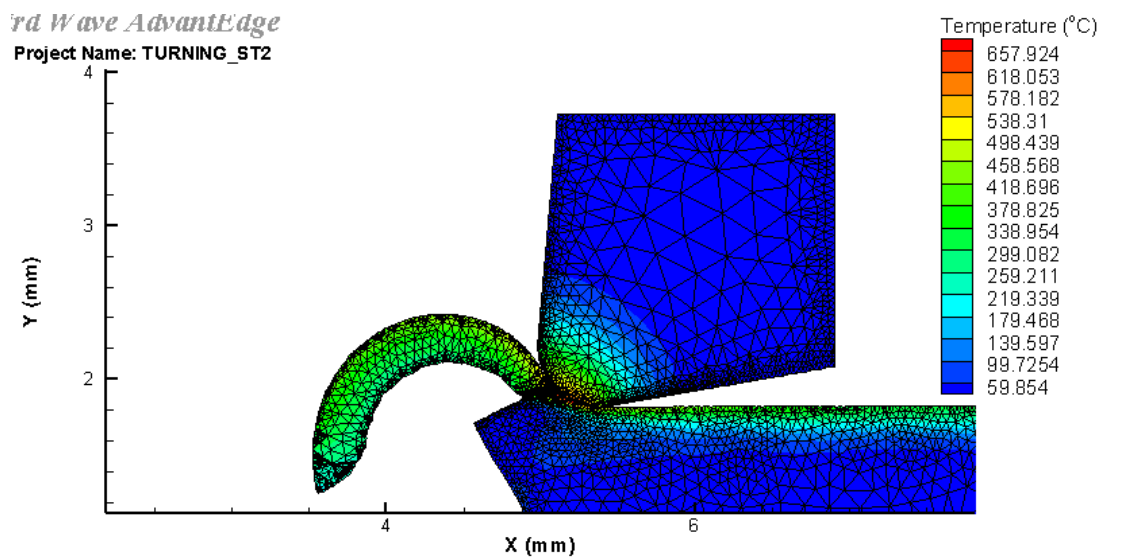
(a) Proses penyayatan benda kerja saat



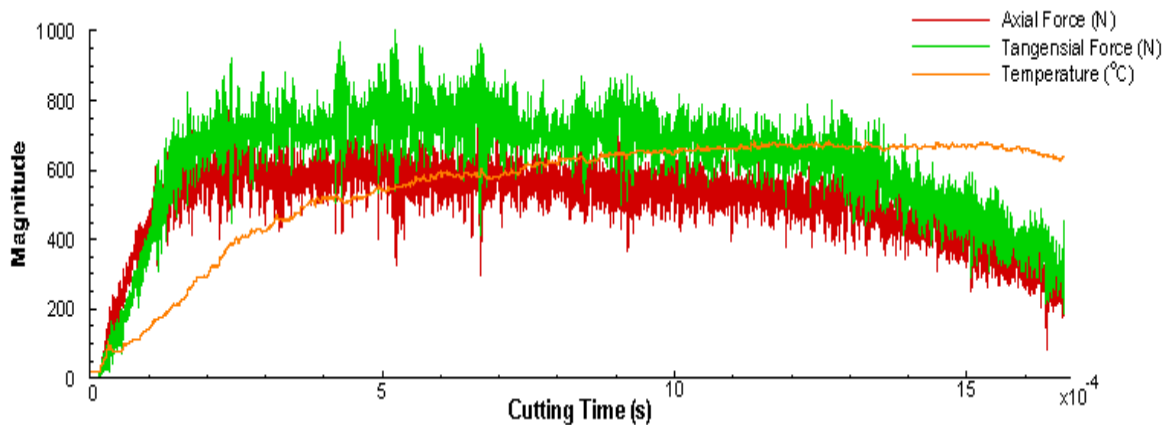
(b) Grafik gaya potong dan temperature

Gambar 7. Proses dan hasil simulasi untuk variasi kedua dengan kecepatan potong $v_c = 180$ m/menit, laju pemakan $f = 0,18$ mm/rev., dan kedalaman potong $a = 0,75$ mm

Hasil simulasi gaya potong dan temperatur untuk variasi kedua, yaitu kecepatan potong $v_c = 180$ m/menit, laju pemakan $f = 0,18$ mm/rev, dan kedalaman potong $a = 1$ mm ditampilkan pada Gambar 8. Gambar 8(a) menampilkan simulasi proses penyayatan saat proses bubut, dimana terlihat pahat potong dengan posisi pemotongan *orthogonal* menyayat benda kerja yang mengakibatkan perubahan temperatur antara pahat dan benda kerja yang terlihat pada warna material tersebut. *Colorbar* menunjukkan nilai dari perubahan temperatur yang terjadi dimana nilai temperatur tertinggi adalah $657\text{ }^\circ\text{C}$ yang terjadi pada ujung kontak antara pahat dan benda kerja. Sedangkan Gambar 8(b) memperlihatkan grafik fluktuasi gaya potong dan temperatur. Terlihat bahwa gaya potong meningkat tajam antara 0 hingga 2×10^{-4} detik, kemudian mengalami kondisi *steady* saat 2×10^{-4} hingga 13×10^{-4} detik, dan setelah itu gaya potong menurun tajam saat pemotongan akan berakhir. Dari grafik tersebut, terlihat juga bahwa gaya potong aksial (*axial cutting forces*) lebih kecil dibandingkan dengan gaya potong tangensial (*tangensial cutting forces*) dengan nilai maksimum kurang lebih dari 600 N untuk gaya potong aksial dan 750 N untuk gaya potong tangensial.



(a) Proses penyayatan benda kerja saat



(b) Grafik gaya potong dan temperatur

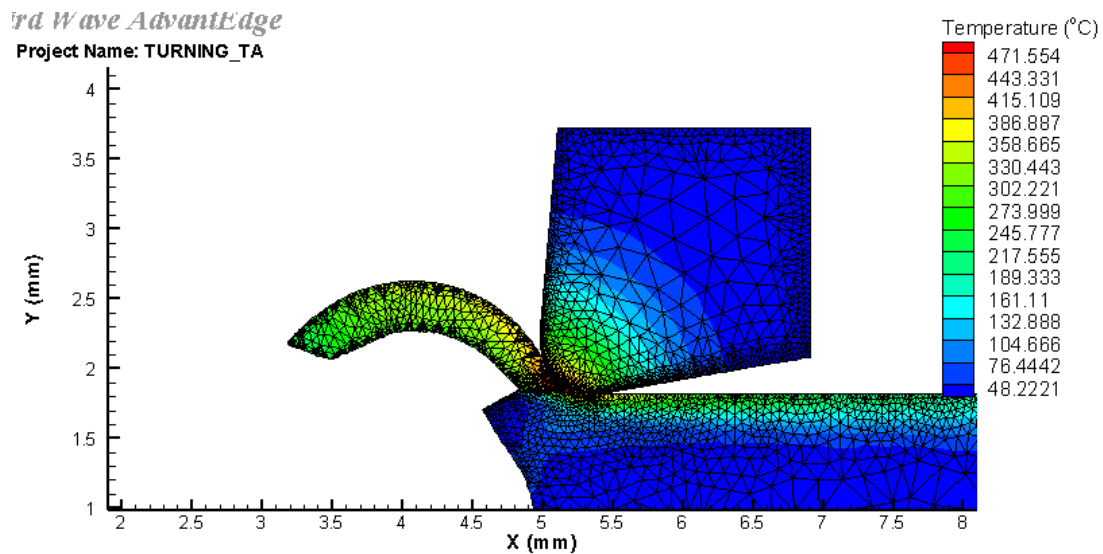
Gambar 8. Hasil simulasi dari variasi ketiga (a) tampilan akhir dari simulasi proses bubut, dan (b) grafik hasil gaya potong dan temperatur

Dari hasil simulasi dengan variasi kedalaman potong yang dilakukan, terdapat perbedaan besaran nilai gaya potong yang dihasilkan pada setiap variasi kedalaman potong. Hal ini dikarenakan kedalaman potong berpengaruh terhadap kuantitas gaya potong proses bubut sebagaimana tertera pada persamaan (6) dan (7). Kemudian untuk temperatur geram maupun ujung pahat saat simulasi pada setiap variasi memiliki nilai tertinggi yang hampir sama yakni antara 657°C . Selanjutnya waktu yang dibutuhkan untuk simulasi pada setiap variasi adalah sama. Hal ini karena tidak terdapat variasi dari parameter gerak makan. Pada simulasi pahat potong mulai menyayat benda kerja pada saat 1×10^{-4} s dan terus menyayat benda kerja sampai akhir simulasi saat 16×10^{-4} s.

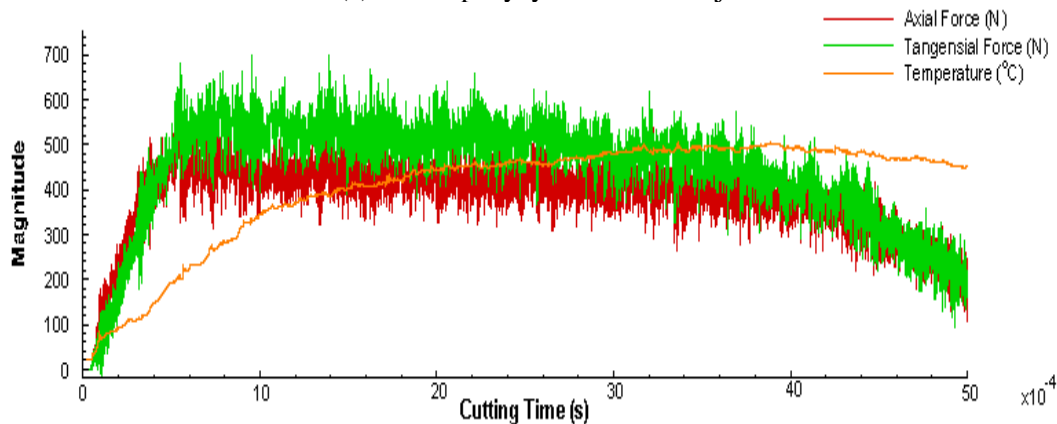
Hasil simulasi untuk parameter proses bubut dengan variasi kecepatan potong. Parameter kecepatan potong tidak memiliki pengaruh pada kuantitas gaya potong proses bubut. Sehingga apabila parameter kecepatan potong divariasikan sedangkan parameter kedalaman potong dan gerak makan tidak divariasikan maka gaya potong arah aksial dan arah potong tangensial yang dihasilkan akan memiliki nilai besaran yang sama.

Hasil simulasi gaya potong dan temperatur untuk variasi pertama, yaitu kecepatan potong $v_c = 60$ m/menit, laju pemakan $f = 0,18$ mm/rev, dan kedalaman potong $a = 0,75$ mm ditampilkan pada Gambar 9. Gambar 9(a) menampilkan simulasi proses penyayatan saat proses bubut, dimana

terlihat pahat potong dengan posisi pemotongan *orthogonal* menyayat benda kerja yang mengakibatkan perubahan temperatur antara pahat dan benda kerja yang terlihat pada warna material tersebut. *Colorbar* menunjukkan nilai dari perubahan temperatur yang terjadi dimana nilai temperatur tertinggi adalah 471 °C yang terjadi pada ujung kontak antara pahat dan benda kerja. Sedangkan Gambar 9(b) memperlihatkan grafik fluktuasi gaya potong dan temperatur. Terlihat bahwa gaya potong meningkat tajam antara 0 hingga 8×10^{-4} detik, kemudian mengalami kondisi *steady* saat 8×10^{-4} hingga 38×10^{-4} detik, dan setelah itu gaya potong menurun tajam saat pemotongan akan berakhir. Dari grafik tersebut, terlihat juga bahwa gaya potong aksial (*axial cutting forces*) lebih kecil dibandingkan dengan gaya potong tangensial (*tangensial cutting forces*) dengan nilai maksimum kurang lebih dari 400 N untuk gaya potong aksial dan 500 N untuk gaya potong tangensial.



(a) Proses penyayatan benda kerja saat

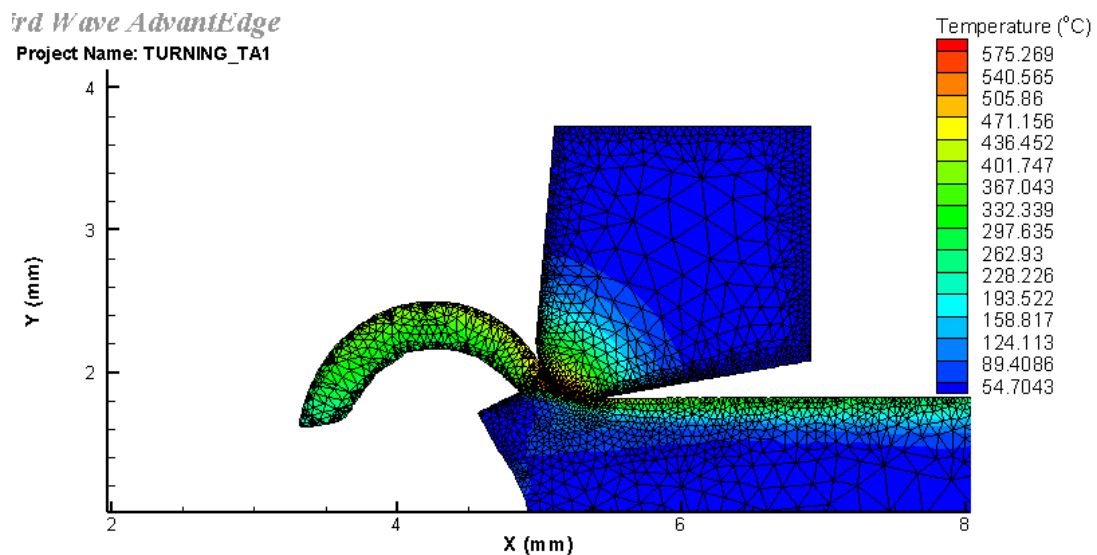


(b) Grafik gaya potong dan temperature

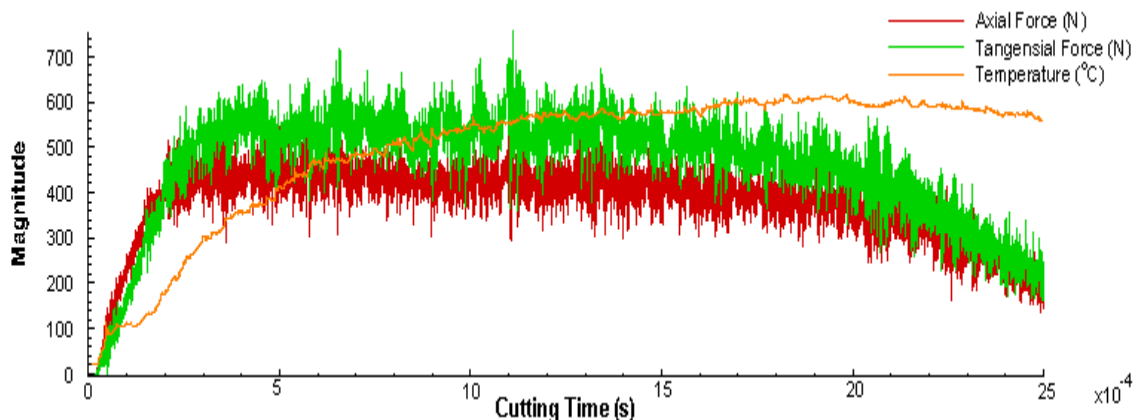
Gambar 9. Hasil simulasi dari variasi pertama (a) tampilan akhir dari simulasi proses bubut, dan (b) grafik hasil gaya potong dan temperatur

Hasil simulasi gaya potong dan temperatur untuk variasi kedua, yaitu kecepatan potong $v_c = 120$ m/menit, laju pemakan $f = 0,18$ mm/rev, dan kedalaman potong $a = 0,75$ mm ditampilkan pada Gambar 10. Gambar 10(a) menampilkan simulasi proses penyayatan saat proses bubut, dimana terlihat pahat potong dengan posisi pemotongan *orthogonal* menyayat benda kerja yang mengakibatkan perubahan temperatur antara pahat dan benda kerja yang terlihat pada warna material tersebut. *Colorbar* menunjukkan nilai dari perubahan temperatur yang terjadi dimana nilai temperatur tertinggi adalah 575 °C yang terjadi pada ujung kontak antara pahat dan benda kerja. Sedangkan Gambar 10(b) memperlihatkan grafik fluktuasi gaya potong dan temperatur. Terlihat

bahwa gaya potong meningkat tajam antara 0 hingga 3×10^{-4} detik, kemudian mengalami kondisi *steady* saat 3×10^{-4} hingga 19×10^{-4} detik, dan setelah itu gaya potong menurun tajam saat pemotongan akan berakhir. Dari grafik tersebut, terlihat juga bahwa gaya potong axial (*axial cutting forces*) lebih kecil dibandingkan dengan gaya potong tangensial (*tangensial cutting forces*) dengan nilai maksimum kurang lebih 400 N untuk gaya potong aksial dan 500 N untuk gaya potong tangensial



(a) Proses penyayatan benda kerja saat

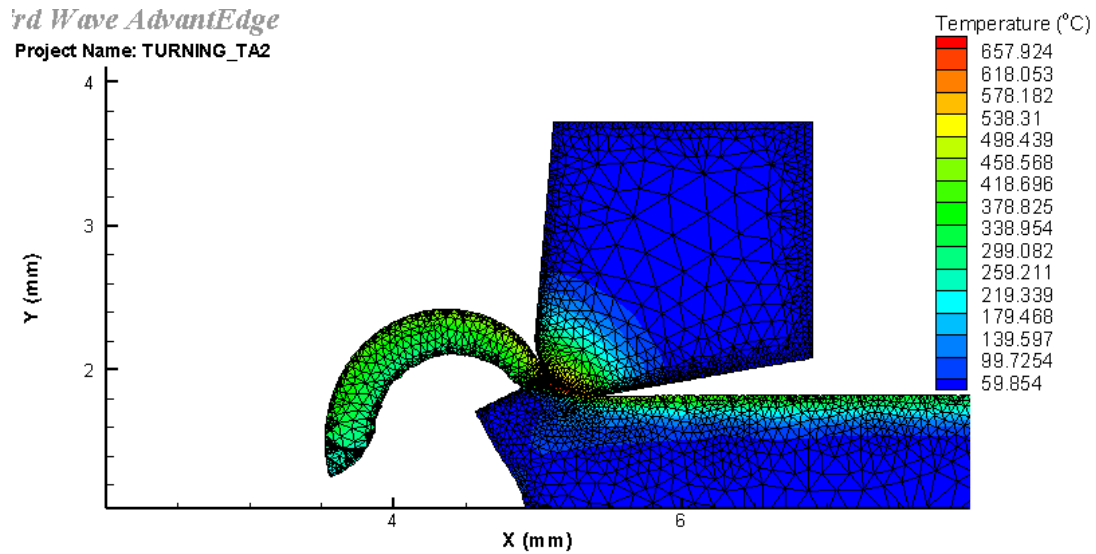


(b) Grafik gaya potong dan temperature

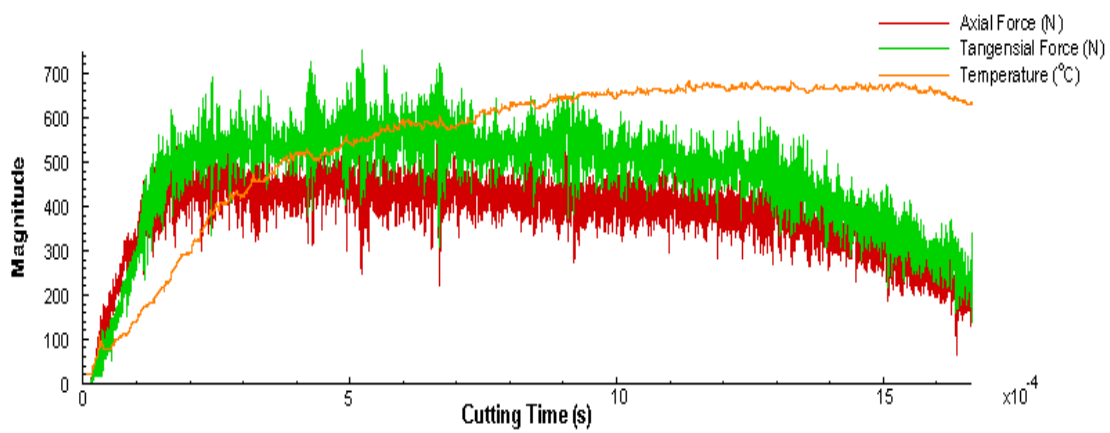
Gambar 10. Hasil simulasi dari variasi pertama (a) tampilan akhir dari simulasi proses bubut, dan (b) grafik hasil gaya potong dan temperatur

Hasil simulasi gaya potong dan temperatur untuk variasi ketiga, yaitu kecepatan potong $v_c = 180$ m/menit, laju pemakan $f = 0,18$ mm/rev, dan kedalaman potong $a = 0,75$ mm ditampilkan pada **Gambar 11**. **Gambar 11(a)** menampilkan simulasi proses penyayatan saat proses bubut, dimana terlihat pahat potong dengan posisi pemotongan *orthogonal* menyayat benda kerja yang mengakibatkan perubahan temperatur antara pahat dan benda kerja yang terlihat pada warna material tersebut. *Colorbar* menunjukkan nilai dari perubahan temperatur yang terjadi dimana nilai temperatur tertinggi adalah 657 °C yang terjadi pada ujung kontak antara pahat dan benda kerja. Sedangkan **Gambar 11(b)** memperlihatkan grafik fluktuasi gaya potong dan temperatur. Terlihat bahwa gaya potong meningkat tajam antara 0 hingga $1,5 \times 10^{-4}$ detik, kemudian mengalami kondisi *steady* saat 2×10^{-4} hingga 13×10^{-4} detik, dan setelah itu gaya potong menurun tajam saat pemotongan akan berakhir. Dari grafik tersebut, terlihat juga bahwa gaya potong axial (*axial cutting forces*) lebih kecil dibandingkan dengan gaya potong tangensial (*tangensial cutting forces*)

dengan nilai maksimum kurang lebih dari 400 N untuk gaya potong aksial dan 500 N untuk gaya potong tangensial



(a) Proses penyayatan benda kerja saat



(b) Grafik gaya potong dan temperature

Gambar 11. Hasil simulasi kedua dari variasi ketiga (a) tampilan akhir dari simulasi proses bubut, dan (b) grafik hasil gaya potong dan temperatur

Dari hasil simulasi dengan variasi kecepatan potong yang dilakukan, tidak terdapat perbedaan besaran nilai gaya potong yang dihasilkan dari setiap variasi kecepatan potong. Hal ini dikarenakan kecepatan potong tidak berpengaruh terhadap kuantitas gaya potong proses bubut. Sedangkan untuk temperatur geram maupun ujung pahat saat simulasi pada setiap variasi memiliki nilai tertinggi yang berbeda. Pada variasi pertama waktu pemotongan yang diperlukan yakni 50×10^{-4} s. Pada variasi kedua waktu pemotongan yang diperlukan yakni 25×10^{-4} s. Kemudian pada variasi ketiga waktu pemotongan yang diperlukan yakni 16×10^{-4} s. Hal ini terjadi karena parameter kecepatan potong berpengaruh terhadap waktu pemotongan pada proses bubut. Perbedaan nilai juga terjadi pada temperatur di setiap variasi. Pada variasi pertama temperatur tertinggi yang dihasilkan sebesar 471°C . Pada variasi kedua temperatur tertinggi yang dihasilkan sebesar 575°C . Kemudian pada variasi ketiga temperatur tertinggi yang dihasilkan sebesar 657°C . Hal ini dikarenakan temperatur pada proses pemotongan akan meningkat dipengaruhi oleh parameter kecepatan potong.

KESIMPULAN

Artikel ini membahas mengenai pengaruh variasi parameter kedalaman potong (*depth of cut*) dan variasi kecepatan potong (*cutting speed*) terhadap gaya potong dan temperatur proses bubut *orthogonal* yang disimulasikan dengan bantuan perangkat lunak berbasis FEM. Hasil dari simulasi variasi kedalaman potong menunjukkan bahwa perbedaan parameter kedalaman potong dapat berpengaruh terhadap kuantitas gaya potong. Pada simulasi variasi 1 didapatkan gaya potong F_t dan F_n masing-masing sebesar 300 N dan 400 N. Pada simulasi variasi 2 didapatkan gaya potong F_t dan F_n masing-masing sebesar 450 N dan 550 N. Sedangkan pada simulasi variasi 3 didapatkan gaya potong F_t dan F_n masing-masing sebesar 600 N dan 750 N. Kemudian temperatur pada 3 variasi simulasi mengalami kenaikan dari tahap awal sampai tahap akhir proses pemesinan, tetapi tidak terdapat perbedaan nilai antara ketiganya. Hasil dari simulasi variasi kedalaman potong menunjukkan bahwa perbedaan parameter kedalaman potong dapat berpengaruh terhadap waktu pemotongan dan temperatur. Pada variasi pertama waktu pemotongan yang diperlukan yakni 50×10^{-4} s. Pada variasi kedua waktu pemotongan yang diperlukan yakni 25×10^{-4} s. Kemudian pada variasi ketiga waktu pemotongan yang diperlukan yakni 16×10^{-4} s. Hal ini terjadi karena parameter kecepatan potong berpengaruh terhadap waktu pemotongan pada proses bubut. Perbedaan nilai juga terjadi pada temperatur di setiap variasi. Pada variasi pertama temperatur tertinggi yang dihasilkan sebesar 471°C . Pada variasi kedua temperatur tertinggi yang dihasilkan sebesar 575°C . Kemudian pada variasi ketiga temperatur tertinggi yang dihasilkan sebesar 657°C . Hal ini dikarenakan temperatur pada proses pemotongan akan meningkat dipengaruhi oleh variasi parameter kecepatan potong.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. P. Groover, *Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems*, 5th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc, 2013.
- [2] S. Kalpakjian and S. R. Schmid, *Manufacturing engineering and technology*, Seventh edition. Upper Saddle River, NJ: Pearson, 2014.
- [3] C. Naresh, P. S. C. Bose, C. Suryaprakash Rao, and N. Selvaraj, "Prediction of cutting force of AISI 304 stainless steel during laser-assisted turning process using ANFIS," *Materials Today: Proceedings*, vol. 38, pp. 2366–2371, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.07.074.
- [4] I. Korkut and M. Boy, "Experimental Examination of Main Cutting Force and Surface Roughness Depending on Cutting Parameters," p. 8, Dec. 2007.
- [5] Y. Zhao, Y. Zhao, and X. Ge, "The Development of a Triaxial Cutting Force Sensor Based on a MEMS Strain Gauge," *Micromachines*, vol. 9, no. 1, p. 30, Jan. 2018, doi: 10.3390/mi9010030.
- [6] M. E. Korkmaz and M. Günay, "Finite Element Modelling of Cutting Forces and Power Consumption in Turning of AISI 420 Martensitic Stainless Steel," *Arab J Sci Eng*, vol. 43, no. 9, pp. 4863–4870, Sep. 2018, doi: 10.1007/s13369-018-3204-4.
- [7] O. İynen, A. K. Ekşi, H. K. Akyıldız, and M. Özdemir, "Real 3D turning simulation of materials with cylindrical shapes using ABAQUS/Explicit," *J Braz. Soc. Mech. Sci. Eng.*, vol. 43, no. 8, p. 374, Aug. 2021, doi: 10.1007/s40430-021-03075-5.
- [8] 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, 2022.
- [9] H. El-Hofy, *Fundamentals of machining processes: conventional and nonconventional processes*, Second edition. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, [2014], 2014.
- [10] T. L. Schmitz and K. S. Smith, *Machining Dynamics: Frequency Response to Improved Productivity*. Cham: Springer International Publishing, 2019. doi: 10.1007/978-3-319-93707-6.
- [11] U. S. Patel, S. K. Rawal, A. F. M. Arif, and S. C. Veldhuis, "Influence of secondary carbides on microstructure, wear mechanism, and tool performance for different cermet grades during high-speed dry finish turning of AISI 304 stainless steel," *Wear*, vol. 452–453, p. 203285, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.wear.2020.203285.
- [12] Rahmatullah, K. Umurani, M. A. Siregar, "Pengembangan Lintasan Pahat Pada Pengefraisan UMSU Menggunakan Cnc Tu-3a", Vol.4, No.1, p. 203285, Mar. 2021, doi: <https://doi.org/10.30596/rmme.v4i1.6690>