

Hubungan Parameter Pemesinan terhadap Gaya Potong, Temperatur, dan Power pada Proses Bubut Inconel 718

Agus Susanto^{a,*}, Hanum Arrosida^b, Muhamad Fajar Subkhan^c, Agus Choirul Arifin^d, Muizzuddin Azka^e

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

^bProdi Teknik Listrik, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Madiun
Kampus 1, Jl. Serayu No 84, Pandean, Madiun, Jawa Timur 63133

^cProdi Teknik Sipil, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Malang
Jl. Soekarno Hatta No.9, Jatimulyo, Lowokwaru, Malang, Jawa Timur 65141

^dProdi Teknik Rekayasa Otomotif, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Madiun
Kampus 2, Jl. Ring Road Barat, Winongo, Kec. Manguharjo, Kota Madiun, Jawa Timur 63162

^ePusat Riset Teknologi Industri Proses dan Manufaktur, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
Jl. Raya Puspiptek - Kota Tangerang Selatan - Banten

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

Abstract

Turning parameters affect to the cutting forces, temperature, power consumption, and consequence to the machining process. The cutting forces consequence to the final product because they are then transmitted to the weak parts of the machine tool, and the main cause of vibration. The vibration leads to the product geometry errors and accelerates the tool wear. For this reason, it is necessary to monitor the cutting forces during machining process. On the other hand, power consumption affects for the effectiveness of turning. Meanwhile, temperature is related to tool wear. This article is aimed to study the relationship between machining parameters onto cutting forces, temperature, and power during turning of Inconel 718 using Cemented-Carbide cutting tool. Considering that pure experimental research is quite expensive, the simulation method was then applied to study those relationship. The simulation results showed that in the initial turning process, cutting forces and temperature increased with the axial cutting force being greater than the tangential ones. The next cutting process, the cutting forces slightly decreased towards a steady state. While, the temperature raised continuously. This is because there was friction between the cutting tool and the workpiece. At the final process, the cutting forces and temperature decreased significantly. On the other hand, the power consumption was similar to the axial cutting force.

Keywords: Cutting Forces, Cutting Temperature, Power Consumption, Inconel 718, Simulation

Abstrak

Parameter proses bubut berhubungan erat dengan gaya potong, temperature, dan konsumsi power yang tentunya menimbulkan konsekuensi proses. Gaya potong akan berkonsekuensi terhadap hasil akhir produk karena gaya potong tersebut diteruskan pada bagian-bagian lemah mesin perkakas, dan akan mengakibatkan getaran. Getaran menjadi penyebab kesalahan geometri produk dan mempercepat keausan pahat. Untuk itu perlu memonitoring gaya potong saat proses pemesinan berlangsung. Sedangkan konsumsi power berkonsukuensi terhadap efektivitas kerja mesin. Sementara, temperatur berhubungan dengan keausan pahat. Artikel ini bertujuan untuk mengkaji hubungan antara parameter pemesinan terhadap gaya potong, temperatur, dan power pada proses bubut Inconel 718 dengan pahat Cemented-Carbide. Mengingat cukup mahalnya penelitian eksperimen murni, maka untuk mengkaji hubungan tersebut dilakukan dengan metode pemodelan dan simulasi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada proses awal pahat menyayat benda kerja, gaya potong dan temperatur cenderung meningkat dengan gaya potong arah aksial lebih besar daripada yang tangensial. Tahap pemotongan berikutnya, gaya potong sedikit menurun menuju kondisi *steady*. Sedangkan temperatur meningkat secara kontinyu karena terjadi gesekan antara pahat dan benda kerja secara terus-menerus. Pada tahap akhir proses pemotongan, gaya potong dan temperature menurun secara signifikan. Disisi lain, konsumsi power mirip dengan grafik gaya potong arah aksial.

Kata kunci: Gaya Potong, Temperatur Pemotongan, Konsumsi Power, Inconel 718, Simulasi

1. Pendahuluan

Proses bubut berfungsi untuk menghasilkan produk dalam bentuk silindris, dimana benda kerja berotasi dan kemudian dipotong oleh pahat potong (*cutting tool*) yang bergerak relative terhadap benda kerja sehingga membentuk geram [1]. Proses bubut menjadi salah-satu proses yang cukup penting dalam rantai proses manufaktur, yang mana proses ini umumnya digunakan pada step akhir (*finishing step*). Sebagai contoh proses fabrikasi *wheel-set* kereta api.

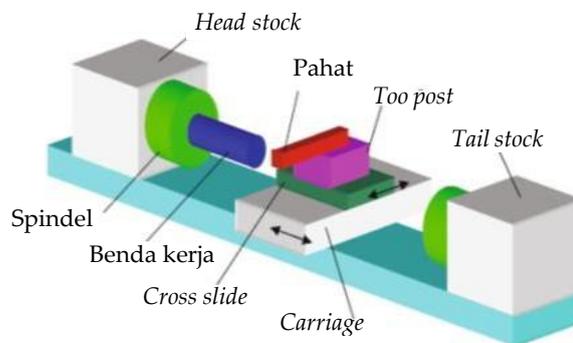
Komponen ini diproses melalui berbagai step dalam rantai manufaktur, diantaranya *casting* untuk mendapatkan spesimen blok, *forming* untuk membentuk produk awal, dan *stamping* untuk mendapatkan bentuk kasar *wheel-set*. Setelah seluruh proses tersebut, maka dilakukan proses bubut untuk menghasilkan dimensi yang presisi pada langkah terakhir [2].

Pada saat proses bubut, material yang terpotong akan menghasilkan gaya potong (*cutting forces*). Gaya potong dipengaruhi oleh beberapa parameter diantaranya kedalaman potong, laju pemakanan, geometri pahat, jenis material benda kerja, dan pemberlakuan dan tidaknya cairan pendinginan selama proses pemesinan. Gaya potong utama yang dihasilkan pada proses bubut dapat berupa gaya potong tangensial dan gaya potong aksial. Gaya potong tangensial yaitu gaya yang dihasilkan pada arah kecepatan potong (*cutting speed*). Gaya potong aksial yaitu gaya yang terjadi pada arah gerak pemakanan (*feeding*). Gaya potong tersebut selanjutnya diteruskan pada bagian-bagian kritis mesin perkakas, dan mengakibatkan getaran. Getaran menjadi penyebab utama kesalahan geometri produk, mempercepat keausan pahat, dan bahkan merusak elemen-elemen mesin bubut (*lathe*), seperti poros dan spindle [3]. Untuk itu perlu mengkaji gaya potong pada proses bubut terutama jika proses tersebut berkaitan dengan langkah akhir. Dengan gaya potong tersebut, proses pemesinan dapat dimonitor kondisinya. Gaya potong pada proses bubut dapat diketahui dengan cara mengukur langsung maupun dilakukan secara simulasi. Disisi lain, konsumsi power berkonskuensi terhadap efektivitas kerja mesin. Sementara, temperatur berhubungan dengan keausan pahat. Agus Susanto, dkk. pernah mensimulasikan gaya potong pada proses frais *up milling* menggunakan *open software Octave* [4].

Artikel ini membahas tentang hubungan antara parameter pemesinan, seperti kedalaman potong (*depth of cut*), kecepatan potong (*cutting speed*), laju pemotongan (*feed rate*), lebar dan panjang geram terpotong, dan geometri pahat, terhadap gaya potong, temperatur, dan power pada proses bubut. Mengingat mahalnya penelitian eksperimental murni dalam rangka mendapatkan hubungan tersebut, maka hubungan ini dikaji menggunakan metode pemodelan dan simulasi. Material benda kerja yang digunakan dalam penelitian ini adalah Inconel 718, yang mana benda kerja ini merupakan material terkini dengan sifat mekanik yang sangat bagus sehingga banyak diaplikasikan pada berbagai jenis industri [5].

Proses Bubut dalam Industri dan Akademisi

Proses bubut (*turning process*) adalah suatu proses pengerjaan logam maupun non-logam dimana benda kerja dicekam pada spindle yang berotasi dan diraut menggunakan pahat yang bergerak relative terhadap benda kerja. Proses bubut umumnya dilakukan menggunakan mesin bubut (*lathe machine*) yang diilustrasikan pada **Gambar 1**. Berdasarkan gambar ini, benda kerja dicekam pada spindle mesin yang mana cekam rahang tiga (*three-jaw chuck*) umumnya sering digunakan. Selain dicekam pada spindle, benda kerja panjang yang berputar juga dapat disupport menggunakan *tailstock* agar benda kerja tidak terdefleksi saat pahat menyayat benda kerja. Dengan kata lain, agar benda kerja menjadi lebih kaku (*rigid*). Pahat potong (*cutting tool*) yang dijepit pada *tool post*, dapat digerakan relatif terhadap benda kerja dengan menyesuaikan posisi pembawanya (*carriage*) dalam arah aksial dan arah radial (*cross slide*).



Gambar 1. Ilustrasi mesin bubut manual dan beberapa bagian pentingnya

Mesin bubut ada yang manual, di mana operator mengontrol posisi *cross slide* selama proses berlangsung, dan ada juga yang dikontrol komputer secara numerik (*Computer Numerically Controlled (CNC)*) sehingga operator tidak perlu mengontrol posisi *cross slide* setiap saat. Dalam hal ini, kontrol otomatis digunakan untuk memerintah posisi *cross slide* agar menjalankan perintah yang telah ditulis pada bagian program oleh operator. Pembuatan program didasarkan pada dimensi produk yang ingin dibentuk dan biasanya dikembangkan menggunakan *software computer aided design/computer aided manufaktur (CAD/CAM)*.

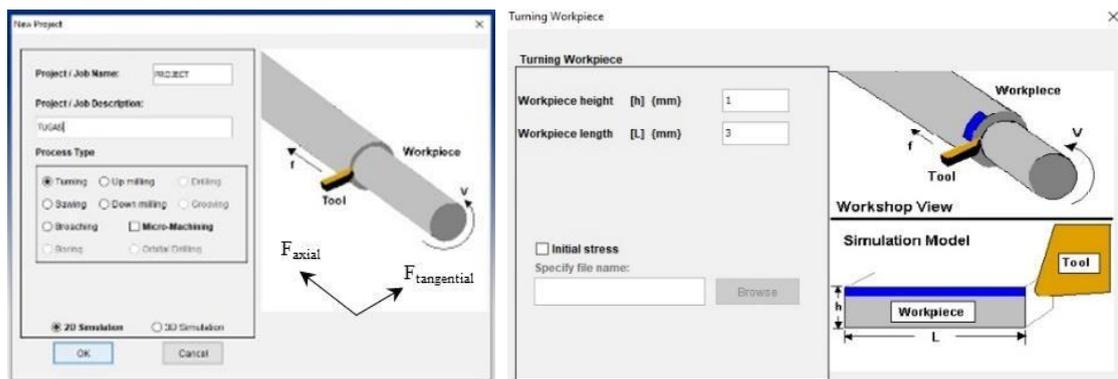
Bentuk akhir yang akan dicapai dari proses bubut adalah berbentuk bulatan (*roundness shapes*) yang mencakup fitur *internal* maupun *eksternal*. Yang perlu diperhatikan pada proses bubut adalah bentuk pahat yang digunakan dan arah pemakanan (*feeding*) pahat sehingga dapat menghasilkan bentuk benda kerja yang diinginkan. Bentuk dan arah pemakanan pahat akan berkorelasi dengan jenis proses bubut, diantaranya proses bubut lurus (*straight turning*)

yangmana pahat meraut benda kerja yang berotasi dengan arah aksial lurus, proses bubut konis (*taper turning*) yangmana pahat meraut benda kerja yang berotasi dengan arah aksial menyudut, proses bubut profil (*profiling turning*) yangmana pahat meraut benda kerja yang berotasi dengan arah setengah lingkaran, proses bubut muka (*facing*) yangmana pahat meraut benda kerja yang berotasi dengan arah radial, dan proses bubut profil yang membutuhkan jenis pahat potong tertentu untuk meraut benda kerja yang berotasi dan seterusnya.

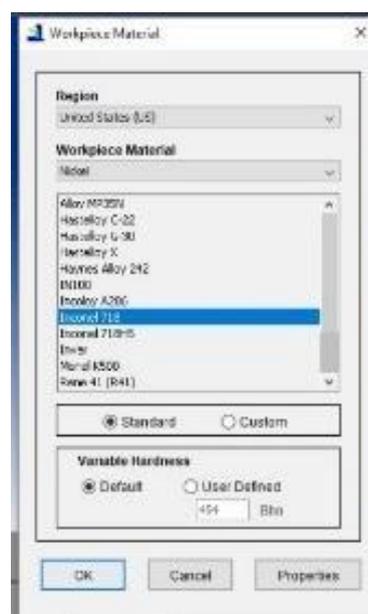
2. Material dan Metode Penelitian

Ditinjau dari penyediaan instrument dan pelatan pelengkap (*jig & fixture*), eksperimental murni untuk pengambilan data berkaitan dengan proses manufaktur merupakan hal yang cukup mahal. Selain itu, menganalisa data tersebut juga membutuhkan waktu yang tidak sedikit. Oleh karena itu, pemodelan dan simulasi merupakan salah-satu solusi untuk mengurangi biaya dan mempersingkat waktu produksi. Pada penelitian ini, *Third Wave Advantedge* [6] digunakan untuk memodelkan proses bubut dan mensimulasikan gaya potong, temperatur, dan power sebagai konsekuensi interaksi pahat dan benda kerja selama operasi. Pada proses bubut terdapat tiga jenis parameter yang harus diperhatikan, yaitu parameter benda kerja, parameter pemesinan, dan parameter pahat.

Pemodelan dan simulasi diawali dengan memilih jenis proses bubut. Hal ini dapat dilakukan dengan membuat *new sheet project* serta memilih tipe proses *turning* sebagaimana yang ditunjukkan pada **Gambar 2(kiri)**. Terlihat dari gambar ini bahwa, benda kerja berotasi dengan kecepatan putaran spindle sebesar v (rpm) dan pahat bergerak meraut benda kerja sebesar f (mm/rotasi). Selain itu, gaya tangensial ($F_{tangensial}$) dan gaya aksial (F_{aksial}) juga dapat dilihat pada gambar tersebut. **Gambar 2(kanan)** adalah *turning workpiece* yang digunakan untuk mengatur dimensi material yang akan disayat dalam bentuk *chip*. Pada gambar bagian *workshop view*, terdapat material tersayat berwarna biru yang akan digunakan untuk menganalisa gaya potong, temperatur, dan power. Pada gambar bagian *simulation model*, material yang akan disayat ini diperbesar (*zoom in*) dan terlihat mempunyai dimensi tinggi (h) dan panjang (l). Dalam simulasi, dimensi ini ditetapkan $h = 1$ mm dan $l = 3$ mm.



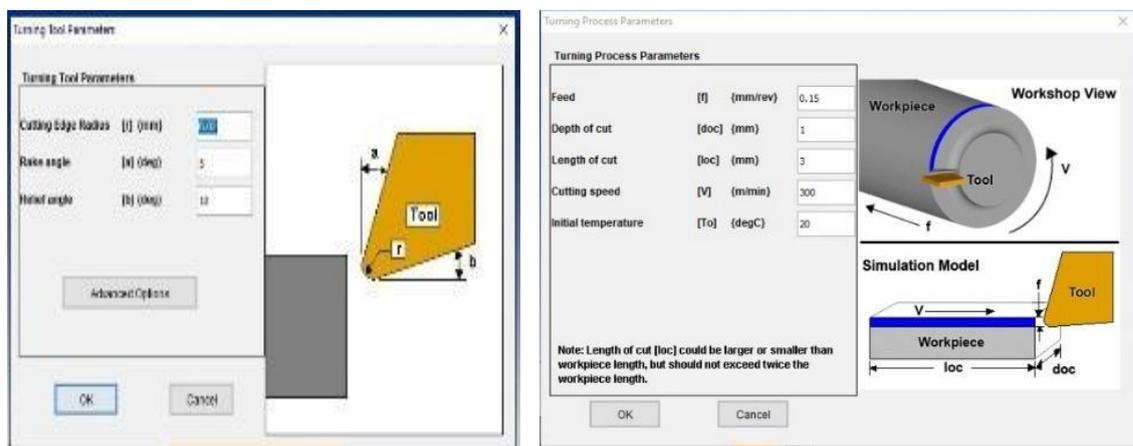
Gambar 2. Tahapan pemodelan dan simulasi; (kiri) pembuatan *new sheet project* serta pemilihan tipe proses bubut, dan jenis simulation, (kanan) pengaturan dimesin h dan l pada material tersayat



Gambar 3. Pemilihan properti material benda kerja (*workpiece material*)

Material yang digunakan adalah Inconel 718 yang merupakan material paduan dari Nikel sebagai unsur utama (*material-based Nickel alloy*). Jenis material ini banyak diaplikasikan diberbagai industri, seperti industri kereta cepat (*high speed train*), dirgantara (*aerospace*), dan militer. Hal ini karena Inconel 718 mempunyai sifat mekanik (*mechanical properties*) yang unggul. Sebagai contoh, nilai kekerasan Inconel 718 tipe standart atau tidak mengalami perlakuan (*pre-material treatment*), seperti *hardening*, *tempering*, dan sebagainya telah mencapai 454 BHN (*Brinell Hardness Number*). Pemilihan material ini dilakukan pada *workpiece material* seperti yang ditunjukkan pada Gambar3.

Selanjutnya adalah menentukan parameter pemesinan yang meliputi spesifikasi pahat dan parameter proses bubut. Spesifikasi pahat bubut meliputi *cutting edge radius (r)*, *rake angle (a)*, dan *relief angle (b)* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4(kiri). Sebagaimana terlihat pada gambar, spesifikasi *cutting edge radius (r)*, *rake angle (a)*, dan *relief angle (b)* masing-masing adalah 0,02 mm, 5 dan 10 derajat. Material pahat yang digunakan pada simulasi adalah pahat karbida (*cemented carbide*) jenis *standar*. Pemilihan material pahat jenis ini karena mempunyai kemampuan untuk meraut benda kerja Inconel 718 yang mempunyai nilai kekerasan 454 HBN [7]. Sedangkan pemilihan parameter proses bubut yang meliputi laju pemakanan (*feed rate, f, mm/rev*), kedalaman pemotongan (*depth of cut, doc, mm*), panjang bidang pemotongan (*length of cut, loc, mm*), kecepatan pemotongan (*cutting speed, v, m/min*), dan suhu sebelum pemotongan (*initial temperature, T₀, °C*) ditunjukkan pada **Gambar 4(kanan)**. Parameter proses bubut yang diterapkan pada simulasi ini masing-masing adalah 0,15 mm/rev.; 1 mm; 3 mm; 300 m/menit; dan 20 °C.

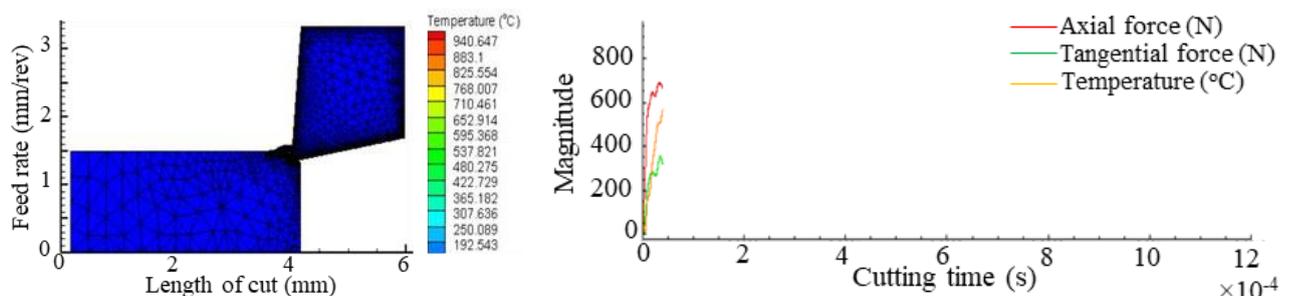


Gambar 4. Pengaturan parameter proses bubut; (kiri) pengaturan spesifikasi pahat bubut, (kanan) pengaturan parameter proses bubut

3. Hasil Dan Pembahasan

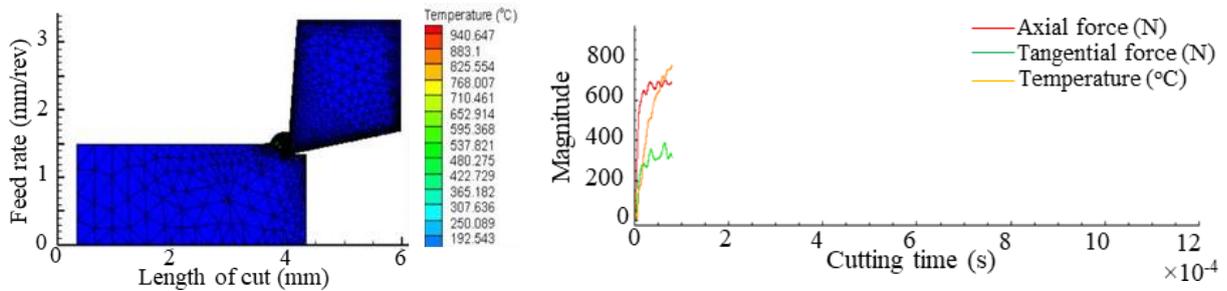
Setelah seluruh proses pemodelan dilalui, maka proses simulasi dapat dijalankan untuk melihat hubungan antara parameter proses pemesinan terhadap gaya potong, temperatur, dan power. Gambar selanjutnya akan menampilkan hasil simulasi dan disertai pembahasannya.

Gambar 5 (kiri) menampilkan simulasi saat pahat kontak awal dengan benda kerja. Berdasarkan gambar ini, terlihat *color bar* dari temperature pemotongan, namun belum bisa digunakan untuk menganalisa temperatur yang terjadi setiap progress pemotongan. Oleh karena itu, untuk menganalisa gaya potong dan temperatur pada awal kontak digunakan grafik yang di tampilkan pada Gambar 5 (kanan). Pada grafik ini, terlihat gaya potong dan temperature pemotongan yang terjadi pada saat $0,5 \times 10^{-4}$ s. Terlihat bahwa gaya potong arah aksial maksimum sebesar ± 700 N, dan gaya potong tangensial maksimum ± 300 N. Kondisi ini juga menunjukkan bahwa saat terjadi kontak awal antara pahat dan benda kerja, gaya potong tidak menunjukkan kondisi *steady*. Selain itu, terlihat bahwa gaya potong aksial lebih besar daripada yang tangensial. Sedangkan temperatur menunjukkan ± 550 °C, maksimum.

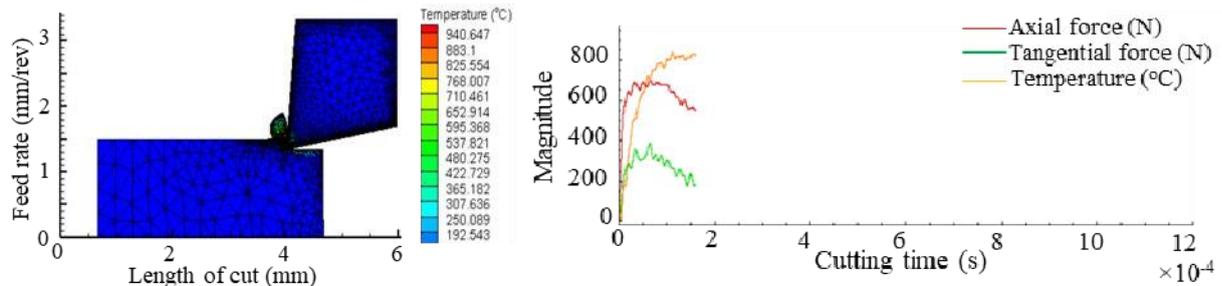


Gambar 5. Hasil simulasi awal; (kiri) pahat kontak awal dengan benda kerja, (kanan) grafik gaya potong dan temperatur

Gambar 6(kiri) menampilkan proses penyayatan benda kerja untuk tahap berikutnya. Sebagaimana gambar sebelumnya, *color bar* dari temperature pemotongan juga terlihat. **Gambar 6(kanan)** menampilkan grafik temperature dan grafik gaya potong untuk proses pemotongan ini. Berdasarkan grafik ini, terlihat pergerakan grafik gaya potong dan temperature pemotongan yang terjadi pada saat penyayatan benda kerja pada waktu 1×10^{-4} s. Gaya potong aksial menunjukkan ± 700 N dan gaya potong tangensial menunjukkan ± 300 N. Dari hasil data tersebut dapat diketahui bahwa gaya potong cenderung konstan untuk menuju kondisi *steady* untuk melanjutkan proses pemesinan. Hal ini dipengaruhi oleh kerja dari mata pahat (*cutting edge*) yang sudah mulai stabil yang mana gaya yang dihasilkan juga cenderung konstan. Sedangkan grafik temperatur cenderung naik dan mencapai ± 750 °C. Hal ini karena terdapat gesekan antara mata pahat dan benda kerja terjadi terus-menerus sehingga menyebabkan bertambahnya suhu pada kondisi ini.



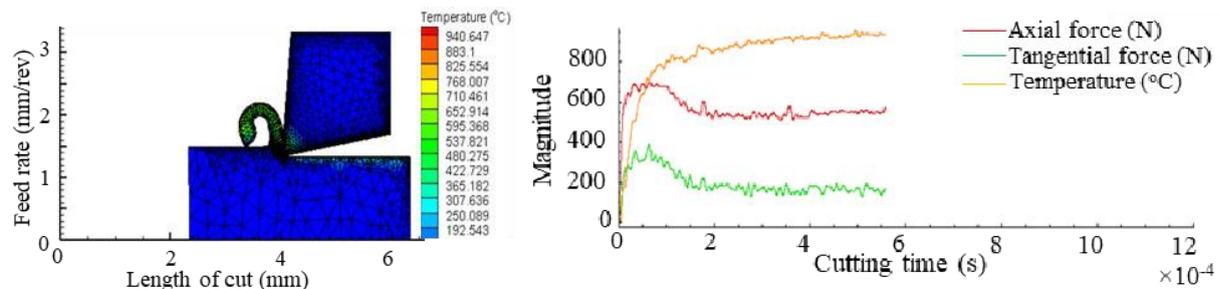
Gambar 6. Hasil simulasi saat pahat memulai proses pemotongan; (kiri) pahat mulai menyayat benda kerja (lanjutan), (kanan) grafik gaya potong dan temperatur (lanjutan)



Gambar 7. Hasil simulasi saat proses mencapai $1,75 \times 10^{-4}$ s; (kiri) proses pahat menyayat benda kerja (lanjutan), (b) grafik gaya potong dan temperatur (lanjutan)

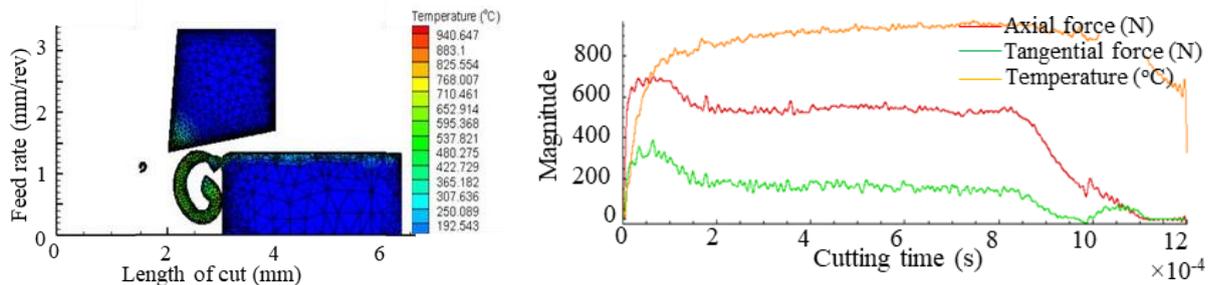
Gambar 7(a) menampilkan proses penyayatan benda kerja pada saat $1,75 \times 10^{-4}$ s dan grafik gaya potong serta grafik temperature ditampilkan pada Gambar 7(b). Kedua gaya potong cenderung menurun yang menunjukkan bahwa gaya pemotongan menuju kondisi mapan (*steady state condition*). Sedangkan temperature sudah berada pada kondisi *steady* sehingga temperatur akan cenderung dijaga konstan. Selain itu, terlihat bahwa temperatur sudah mulai menjalar pada geram (*chip*) dengan suhu antara 365 – 710 °C.

Gambar 8(a) menampilkan proses penyayatan benda kerja untuk 60% proses dan grafik temperature serta gaya potong untuk proses pemotongan yang terjadi pada saat penyayatan benda kerja pada waktu $5,5 \times 10^{-4}$ s ditampilkan pada Gambar 8(b). Kedua gaya potong cenderung konstan yang berarti bahwa gaya potong telah berada pada kondisi *steady*. Demikian pula dengan temperature cenderung pada kondisi *steady* sehingga temperatur akan cenderung dijaga konstan. Selain itu, temperatur telah menjalar baik pada geram (*chip*) dan sedikit ujung pahat dengan suhu antara 365– 768 °C.



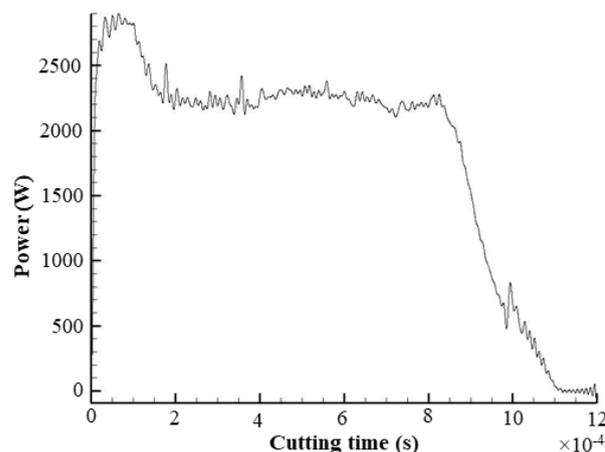
Gambar 8. Hasil simulasi saat proses mencapai 60%; (kiri) pahat menyayat benda kerja (lanjutan), (kanan) grafik gaya potong dan temperatur (lanjutan)

Gambar 9(kiri) menampilkan proses akhir pemesinan, sedangkan Gambar 9(kanan) adalah grafik temperature dan gaya potong untuk akhir proses pemotongan. Kedua gaya potong terlihat menurun secara significant dari sebelumnya yang menandakan bahwa proses telah berakhir. Demikian pula dengan temperature, yang terlihat menurun secara significant. Selain itu, temperatur selama proses masih tersisa baik pada geram (*chip*) maupun ujung pahat dengan suhu antara 365–768 °C.



Gambar 9. Hasil simulasi saat proses pemesinan selesai; (kiri) posisi akhir, (kanan) grafik gaya potong dan temperatur secara keseluruhan

Gambar 10 menampilkan grafik fluktuasi konsumsi power hasil simulasi. Terlihat bahwa grafik power mirip dengan grafik gaya potong aksial. Pada saat awal terjadi kontak antara pahat dengan benda kerja, power juga meningkat, kemudian turun sementara dan menuju kondisi *steady* hingga beberapa waktu. Ketika pemotongan mulai berakhir, power turun secara drastic hingga mencapai nol.



Gambar 10. Fluktuasi komsumsi power secara keseluruhan proses pemesinan

4. Kesimpulan

Artikel ini menjelaskan hubungan penting antara parameter proses bubut dengan gaya potong, konsumsi power, dan temperatur sebagai konsekuensi interaksi antara pahat dan benda kerja selama operasi melalui simulasi menggunakan *Third Wave Advantedge*. Hal ini karena eksperimental murni untuk pengambilan data berkaitan dengan proses manufaktur merupakan hal yang cukup mahal, ditinjau dari penyediaan instrument dan peralatan pelengkap (*jig & fixture*), serta memakan waktu (*time-consuming*) dalam analisa data. Hasil simulasi dijelaskan sebagai berikut; (1) Pada proses awal pahat menyayat benda kerja (saat pemotongan $0,5 \times 10^{-4}$ s), gaya potong arah aksial, tangensial, dan temperatur cenderung meningkat dengan gaya potong arah aksial lebih besar daripada arah tangensial; (2) Tahap pemotongan berikutnya (saat pemotongan $0,1 \times 10^{-4}$ s), grafik gaya potong sedikit menurun menuju kondisi mapan (*steady*). Sedangkan grafik temperatur cenderung terus naik. Hal ini karena terdapat gesekan antara mata pahat dan benda kerja terjadi terus-menerus sehingga menyebabkan bertambahnya suhu pada kondisi ini; (3) Tahap pemotongan berikutnya (saat pemotongan 1,75 hingga 2×10^{-4} s), baik gaya potong maupun temperatur cenderung stabil. Selain itu, terlihat bahwa temperatur sudah mulai menjalar pada geram (*chip*); (4) Pada tahap akhir proses pemotongan, grafik temperatur dan grafik gaya potong terlihat menurun secara significant; (5) Sedangkan grafik power mirip dengan grafik gaya potong arah aksial. Pada saat awal terjadi kontak antara pahat dengan benda kerja, power juga meningkat, kemudian turun sementara dan menuju kondisi *steady* hingga beberapa waktu. Ketika pemotongan mulai berakhir, power turun secara drastis hingga mencapai nol.

Ucapan Terima Kasih

Para peneliti menyampaikan terimakasih yang mendalam kepada Direktorat Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRPM) KEMENDIKBUD atas bantuan dana penelitian yang telah dipecahkan kepada kami.

Referensi

- [1] Halim, A., Ilmawan, S., & Dedy, S. Pengaruh Putaran Spindel dan Depth of Cut Material AISI 4140 untuk Pembuatan Bushing pada Proses Bubut Konvensional. ROTASI, 23(4), 8–17.
- [2] Application Guide for Railway Turning. (2021) Re-Turning and New Wheel Turning. Sandvik Coromant.
- [3] Agus Susanto, Chung, H.L., Keij, Y., Hwang, Y.R., Tanaka, R. dan Sekiya, K. 2018. “Application of Hilbert–Huang transform for vibration signal analysis in end-milling”, *Precision Engineering*, Vol. 53.
- [4] Susanto, A., Liu, C. H., Yamada, K., Hwang, Y. R., Tanaka, R., & Sekiya, K. (2018). Application of Hilbert–Huang transform for vibration signal analysis in end-milling. *Precision Engineering*, 53, 263-277.
- [5] Hoe, C. H., Reddy, M. M., Lee, V. C. C., & Debnath, S. (2018). Chatter Behavior in the Milling Process of Inconel 718: Effects of Tool Edge Radius. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 202, p. 02006). EDP Sciences.
- [6] <https://thirdwavesys.com>. Diakses Juni 2021.
- [7] Jawaid, A., Koksal, S., & Sharif, S. (2001). Cutting performance and wear characteristics of PVD coated and uncoated carbide tools in face milling Inconel 718 aerospace alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, 116(1), 2–9.