

SIMULASI PROSES PEMESINAN MENGGUNAKAN UDARA-DINGIN DENGAN TABUNG VORTEK

Paryanto, Rusnaldy, Yusuf Umardani dan Norman Iskandar

Laboratorium Metrologi Industri, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UNDIP

Jl. Prof. Soedarto, SH Tembalang, Semarang 50275

e-mail: paryanto@undip.ac.id

Abstrak

Proses pemesinan dengan menggunakan pendinginan udara merupakan salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk mengurangi biaya produksi dan menerapkan proses pemesinan yang ramah lingkungan. Dalam rangka memperbesar efektivitas proses pendinginan, udara yang digunakan harus bersuhu rendah. Hal ini dimaksudkan untuk memperbesar margin temperatur antara udara pendingin dan permukaan pahat/benda kerja, sehingga laju pendinginan menjadi lebih besar. Pada proses pemesinan, udara-dingin ini dapat diperoleh menggunakan tabung vortek. Pada makalah ini dibahas penggunaan udara-dingin pada proses pemesinan dengan tujuan untuk mengetahui besarnya penurunan temperatur pahat. Metode penelitian dilakukan dengan pemodelan proses pemesinan bubut menggunakan software finite element method (FEM). Simulasi dilakukan pada temperatur udara pendingin -55°C dan 20°C dengan tekanan penyemprotan 0,5–6 bar. Dari penelitian ini diperoleh kesimpulan bahwa efektifitas pendinginan menggunakan udara-dingin lebih tinggi dibandingkan dengan pendinginan dengan udara temperatur lingkungan.

Kata kunci: tabung vortek, udara-dingin, FEM, pemesinan ramah lingkungan.

1. PENDAHULUAN

Proses pemesinan hampir selalu digunakan dalam proses manufaktur, oleh karena itu proses ini sering kali dianalisis untuk mengoptimalkan suatu proses produksi. Dalam rangka mengoptimasi proses pemesinan banyak sekali faktor yang harus diperhatikan, antara lain: gaya potong, keausan pahat, parameter pemotongan, cairan pendinginan, dan urutan proses pengerjaan. Banyak peneliti yang telah melakukan kajian terhadap faktor-faktor tersebut, kebanyakan penelitian dimaksudkan untuk menciptakan proses pemesinan yang efektif dan efisien. Hal ini tentu saja dilakukan tanpa mengabaikan kualitas produk dari proses pemesinan, karena indikator utama proses pemesinan adalah dilihat dari kualitas benda kerja yang dihasilkan.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengurangi biaya produksi adalah dengan mengganti media pendingin cair (dromus) dengan media pendingin yang lebih hemat. Penggunaan udara sebagai media pendingin dapat dijadikan salah satu alternatif untuk masalah tersebut. Disamping murah, media pendingin udara juga lebih ramah lingkungan. Dari penelitian yang telah dilakukan penulis sebelumnya (Paryanto, dkk., 2010a) penggunaan udara bertemperatur lingkungan maksimum akan dapat menurunkan temperatur pahat 48%, tetapi penurunan ini relatif lebih kecil jika dibandingkan dengan penggunaan dromus. Penggunaan dromus mampu menurunkan 65%, sehingga jika dilihat dari efektifitas pendinginan, dromus masih lebih baik. Tetapi penggunaan dromus akan mencemari lingkungan dan meningkatkan biaya produksi, sehingga penggunaan udara sebagai media pendingin masih layak untuk dikaji secara mendalam.

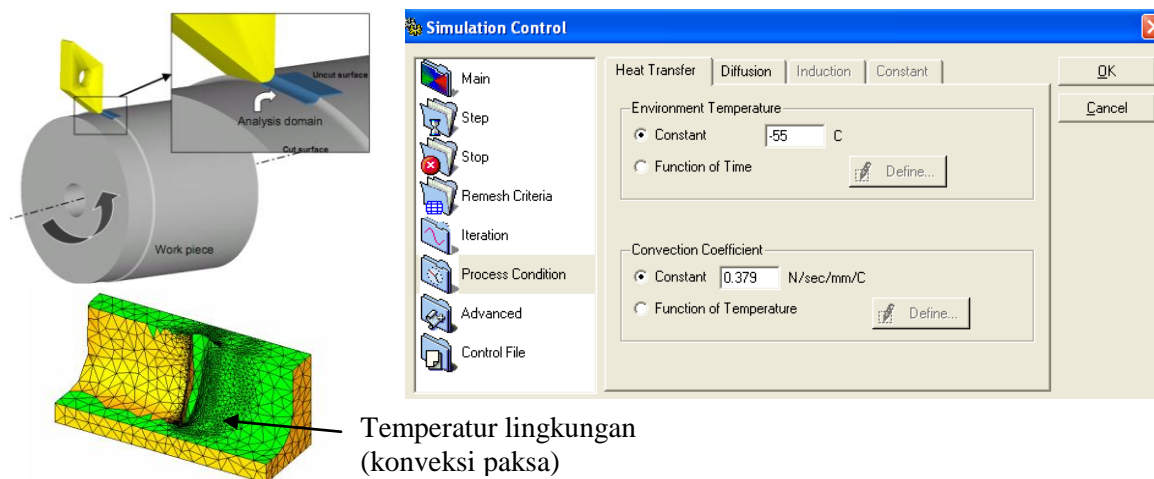
Peningkatan efektifitas penggunaan udara sebagai pendingin secara teoritis dapat dilakukan dengan menurunkan temperatur udara yang digunakan sebagai media pendingin. Penurunan temperatur udara akan meningkatkan delta temperatur antara temperatur pahat/geram dengan media pendingin. Sehingga penggunaan udara bertemperatur rendah akan mampu meningkatkan efektifitas proses pendinginan. Cara paling efektif untuk menghasilkan udara-dingin adalah dengan menggunakan *vortex tube* (tabung vortek). Penjelasan tentang cara kerja tentang tabung vortek akan dijelaskan pada bab tersendiri pada makalah ini.

Aplikasi pendinginan menggunakan udara-dingin pada proses pemesinan logam diharapkan menjadi nilai tambah pada usaha pemesinan logam, karena secara ekonomis mampu mengurangi biaya yang seharusnya digunakan untuk: membeli cairan pendingin, membeli pahat akibat rendahnya umur pahat, serta biaya pengiriman dan pengolahan limbah. Penelitian ini merupakan penelitian awal untuk mengkaji lebih lanjut dalam aplikasi udara-dingin sebagai media pendingin dalam proses pemesinan. Secara khusus penelitian ini bertujuan untuk melihat efektifitas

3. METODE PENELITIAN

3.1 Pemodelan Proses Bubut Menggunakan Media Pendingin Udara-Dingin

Pemodelan proses bubut dengan metode elemen hingga dilakukan dengan simulasi menggunakan *Software Deform 3D v5.0*. Dengan pemodelan seperti pada Gambar 3 kita dapat mengetahui interaksi antara benda kerja dengan pahat sekaligus preses terbentuknya geram. Pahat potong dimodelkan sebagai *rigid body* karena diasumsikan tidak mengalami deformasi saat proses berlangsung, sedangkan benda kerja dimodelkan sebagai *plastic* karena benda mengalami deformasi plastis. Pemodelan *plastic* pada benda kerja akan menghasilkan simulasi yang mendekati perlakuan pada kondisi sebenarnya. Proses *meshing* elemen menggunakan *arbitrary lagrangian eulerian* (ALE), sehingga selama proses simulasi, *meshing* berlangsung secara *transient* (Paryanto, dkk., 2010b).



Gambar 3 Pemodelan proses bubut menggunakan pendingin udara-dingin pada *Software Deform3D v5.0*

Pemodelan untuk pemesinan menggunakan pendingin udara-dingin dilakukan dengan mengatur temperatur pahat, temperatur benda kerja, temperatur lingkungan sekitar dan memasukkan nilai konveksi paksa dari aliran udara (Gambar 3) (Bareggi, dkk., 2007). Temperatur lingkungan sekitar di asumsikan -55°C (udara-dingin) dan 20°C (udara normal) dengan koefisien konveksi paksa dihitung berdasarkan besarnya Bilangan Nusselt (Nu), Bilangan Reynolds (Re), Bilangan Prandtl (Pr), dan geometri permukaan benda kerja. Jumlah *mesh* benda kerja adalah 75.000 elemen dengan *arc angle* 45° , sedangkan pahat dimodelkan dengan menggunakan jumlah *mesh* 45.000 elemen.

3.2 Metode Eksperimental (Paryanto, dkk., 2010a)

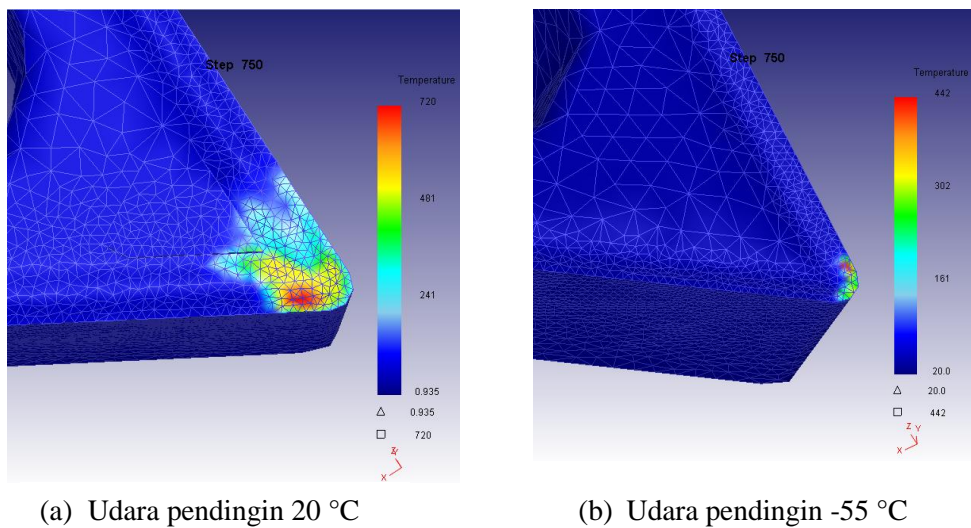
Metode eksperimental disini merupakan metode yang telah dilakukan oleh penulis sebelumnya. Eksperimen dilakukan pada kondisi pemesinan bubut menggunakan udara temperatur lingkungan sebagai media pendingin, dengan tekanan penyemprotan 0,5–6 bar. Benda kerja yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja St 40 dengan dimensi $\text{Ø}34 \times 60$ mm. Jenis pahat yang digunakan adalah TNMG 160404 FG CT 3000 dengan *tool holder* tipe PTNFR1616. Mesin bubut yang digunakan adalah EMCO Maier Maximat V13. Termometer KW06-283 digunakan untuk mengukur temperatur pahat pada waktu proses pemesinan. Pada termometer jenis ini dilengkapi dengan *thermocouple* yang digunakan sebagai sensor yang ditempelkan dipahat yang akan diukur. Pemesinan bubut dilakukan pada kecepatan potong 140 m/min, *feed rate* 0,112 mm/rev dan kedalaman pemakanan 0,5 mm. Nosel yang digunakan berdiameter 2 mm dengan jarak antara ujung nosel dengan benda kerja 2 cm.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan pendinginan udara bertekanan pada proses pemesinan dilakukan dengan memasukkan koefisien perpindahan kalor konveksi paksa dan temperatur lingkungan udara sekitar.

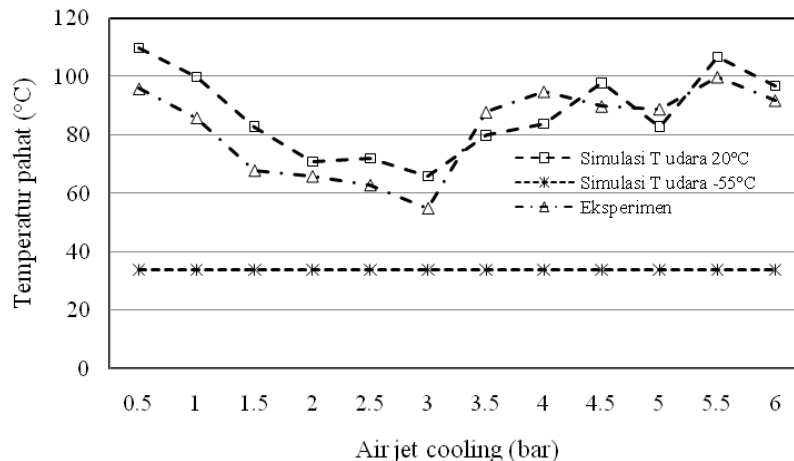
Karena pada *Software Deform 3D v5.0* tidak terdapat fasilitas untuk memodelkan arah pendinginan, maka pemodelan yang dilakukan hanya untuk arah *overhead*, dengan asumsi bahwa proses konveksi paksa terjadi diseluruh permukaan benda kerja dan permukaan pahat hasil pemodelan (Gambar 3).

Distribusi temperatur pahat hasil simulasi dari pemodelan bubut dengan pendinginan udara bertekanan 3 bar dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan Gambar 4 diketahui bahwa penggunaan udara-dingin sebagai media pendinginan pada proses pemesinan mampu menurunkan temperatur pahat hingga 39% dibandingkan dengan menggunakan pendinginan udara bertemperatur lingkungan. Hal ini karena adanya perbedaan temperatur yang cukup besar antara udara pendingin dengan temperatur pahat selama proses pemotongan logam. Sehingga akan meningkatkan laju perpindahan panas konduksi pada proses pendinginan. Selain hal tersebut, penggunaan udara-dingin sebagai media pendingin juga mampu menurunkan bilangan *Pr* sehingga akan memperbesar laju perpindahan panas konveksi paksa.



Gambar 4 Distribusi temperatur pahat hasil proses pemodelan menggunakan *Deform 3D* pada tekanan udara 3 bar.

Jika dibandingkan dengan proses pemesinan kering maka penurunan temperatur pahat setelah menggunakan udara-dingin mencapai 51%. Hal ini akan hampir menyamai dengan efektifitas pendinginan yang dapat diperoleh jika menggunakan pemesinan menggunakan media pendingin cair (Paryanto, 2010). Jadi jika dilihat dari kemampuan menurunkan temperatur pahat pada proses pemotongan logam, penggunaan udara-dingin dapat digunakan untuk menggantikan dromus. Akan tetapi, untuk mengetahui efektifitas penggunaan udara-dingin hubungannya dengan kualitas hasil pemesinan dan laju keausan pahat masih diperlukan suatu kajian secara eksperimental.



Gambar 5 Temperatur *clearance face* pahat pada jarak 1 mm dari *nose radius*.

Dari hasil eksperimental dan simulasi menggunakan udara bertemperatur lingkungan sebagai pendingin dapat diketahui bahwa pada tekanan pendinginan 3 bar akan diperoleh efek pendinginan pahat yang paling baik. Hal ini berkaitan dengan kemampuan perpindahan panas konveksi, kecepatan penyemprotan dan faktor tekanan itu sendiri. Semakin tinggi tekanan udara akan akan menghasilkan temperatur udara yang lebih tinggi sehingga kemampuan pendinginan menurun.

Berdasarkan hasil simulasi proses pemesinan menggunakan udara-dingin, besarnya tekanan udara tidak berpengaruh terhadap besarnya penurunan temperatur pahat (Gambar 5). Hal ini karena faktor delta temperatur (ΔT) antara udara pendingin dan temperatur pahat memiliki pengaruh yang lebih besar dibandingkan dengan faktor kecepatan dan tekanan udara pendingin. Dengan kata lain laju perpindahan panas konduksi lebih berpengaruh dibandingkan dengan laju perpindahan konveksi paksa. Berdasarkan hasil ini dapat diketahui juga bahwa hal terpenting dalam penggunaan udara-dingin sebagai media alternatif adalah menjaga temperatur udara agar serendah dan sekonstan mungkin. Hal tersebut dapat diperoleh dengan menjaga tekanan dan kapasitas udara input dari kompresor selalu konstan.

5. KESIMPULAN

Jika dilihat dari efektifitas pendinginan, udara-dingin dapat digunakan sebagai media pendingin alternatif untuk menggantikan fungsi dari dromus. Udara-dingin ini dengan mudah dapat dihasilkan dengan menggunakan tabung vortek. Hasil simulasi dari pemodelan yang telah dibuat diperoleh bahwa faktor perbedaan temperatur antara udara pendingin dan temperatur pahat lebih berpengaruh dibandingkan dengan faktor kecepatan dan tekanan udara pendingin. Hal ini berarti bahwa laju perpindahan panas konduksi lebih besar jika dibandingkan dengan laju perpindahan konveksi paksa. Penelitian secara eksperimental diperlukan untuk memvalidasi hasil simulasi serta melihat kualitas hasil pemesinan dan laju keausan pahat pada proses pemesinan menggunakan udara-dingin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro yang telah membatu pendanaan penelitian ini yang tercantum dalam kontrak no. 3294/UN7.3.3/PG/2011.

DAFTAR PUSTAKA

- Bareggi, A., Torrance, A., O' Donnell, G., (2007), "Modelling thermal effects in machining by finite element method", *Proceedings of the 24th International Manufacturing Conference*, Waterford, 263 – 272.
- Boswell, B., Chandratilleke, T.T., (2009), "Air-cooling used for metal cutting", *American Journal of Applied Sciences* 6 (2), pp. 251 – 262.
- Paryanto, (2010), "Analisa efek *air jet cooling* pada proses bubut baja St 40", Master Tesis pada Program Magister Teknik Mesin, Universitas Diponegoro, Semarang..
- Paryanto, Rusnaldy, Utomo, T.S., Umardani, Y., (2010a), "Aplikasi *air jet cooling* pada proses pemesinan logam", *Prosiding Seminar Nasional Teknoin: Green Technology*, Yogyakarta, pp. E.91 – E.98.
- Paryanto, Rusnaldy, Utomo, T.S., Umardani, Y., (2010b), "Analisa efek *air jet cooling* terhadap temperatur pemotongan logam", *Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin ke-9*, UNSRI Palembang, pp. MV.9 – MV.16.