
PROSES PERMESINAN BUBUT PADA KACA

Rusnaldy*, Susilo A.W., Yusuf U., Norman I., Triana A., Dika F.P.S

*Lab. Metrologi Industri

Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro, Semarang

Email: rusnaldy@undip.ac.id

Abstrak

Kaca termasuk jenis material yang getas. Sebagai material yang getas, sifat ketermesinan (*machinability*) kaca sangat rendah karena nilai *fracture toughness*-nya yang rendah. Kekuatan *fracture* (*fracture strength*) kaca lebih rendah dari kekuatan luluhnya (*yield strength*). Ketika kaca diberi beban tarik atau tekuk pada suhu kamar, maka kaca akan hancur sebelum terjadi deformasi plastis. Itu sebabnya maka proses pemesinan jarang diterapkan pada kaca. Permasalahan utama proses pemesinan material getas seperti kaca adalah proses pembentukan geram dapat menimbulkan kerusakan yang cukup parah di permukaan dan di bawah permukaan (*subsurface*). Kerusakan seperti ini jelas menurunkan kualitas hasil proses pemesinan. Untuk menghasilkan permukaan yang halus pada material getas, adalah sangat penting jika material getas dilakukan proses pemesinan dalam kondisi ulet (*ductile cutting mode*). Untuk itu maka serangkaian eksperimen proses pemesinan bubut pada kaca telah dilakukan untuk mencari parameter optimum dari proses pemesinan kaca. Selain itu juga diteliti umur pahat yang digunakan dan proses pendinginan apa yang mampu untuk memperpanjang umur pahat. Sehingga nantinya akan berdampak pada nilai ekonomi proses pemesinan kaca jika nanti dapat diterapkan di masyarakat. Dari hasil yang didapatkan ternyata proses bubut pada kaca dapat dilakukan. Kondisi permukaan paling baik didapatkan ketika proses bubut dilakukan pada radius nose 5 mm, *depth of cut* 0,5 mm, *feed rate* 0,045 mm/rev, kecepatan spindle 30 rpm dan kondisi pemesinan menggunakan cairan pendingin dromus. Dari hasil ini juga terlihat bahwa Laju keausan tepi pahat HSS pada proses pemesinan kaca sangat tinggi, sehingga dengan pertimbangan ekonomis pahat HSS tidak dapat digunakan

Kata Kunci : Pemesinan, Kaca, High hydrostatic pressure, Ductile cutting mode, Laju Keausan Pahat

PENDAHULUAN

Kaca banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Proses fabrikasi kaca sangat terbatas, terutama untuk proses-proses manufaktur seperti proses pemesinan. Sifat kaca yang getas yang menjadi penyebabnya. Mengingat kebutuhan akan kaca semakin meningkat terutama untuk peralatan optik dan *biochips*. Selama ini proses untuk manufaktur kaca menggunakan proses *chemical etching*, namun prosesnya berlangsung cukup lama dan zat kimia yang digunakan perlu penanganan yang khusus agar tidak mencemari lingkungan ketika dibuang. Sehingga butuh biaya lebih untuk hal tersebut. Belum lagi bahaya laten yang ditimbulkan oleh zat kimia tersebut bagi kesehatan operator.

Sebagai material yang getas, sifat ketermesinan (*machinability*) kaca sangat rendah karena nilai *fracture toughness*-nya yang rendah. Kekuatan *fracture* (*fracture strength*) kaca lebih rendah dari kekuatan luluhnya (*yield strength*). Ketika kaca diberi beban tarik atau tekuk pada suhu kamar, maka kaca akan hancur sebelum terjadi deformasi plastis. Itu sebabnya maka proses pemesinan jarang diterapkan pada kaca. Permasalahan utama proses pemesinan material getas seperti kaca adalah proses pembentukan geram dapat menimbulkan kerusakan yang cukup parah di permukaan dan di bawah permukaan (*subsurface*). Kerusakan seperti ini jelas menurunkan kualitas hasil proses pemesinan. Untuk menghasilkan permukaan yang halus pada material getas, adalah sangat penting jika material getas dilakukan proses pemesinan dalam kondisi ulet (*ductile cutting mode*).

Penelitian tentang *ductile cutting mode* pada material getas, seperti silikon dan germanium telah banyak dilakukan orang [1-4]. Hal ini dilakukan untuk mendukung perkembangan komponen atau sistem yang ukurannya semakin lama semakin mengecil (mikro dan nano). Sementara penelitian terhadap proses pemesinan pada kaca juga telah dilakukan oleh peneliti lain [5-8].

Ductile cutting mode berhasil diperoleh pada penelitian ini, namun sayangnya *ductile cutting mode* diperoleh pada *uncut chip thickness* yang sangat kecil, yakni jauh dibawah 1 mm. Peneliti sendiri juga pernah mendapatkan *ductile cutting mode* untuk proses *micro end milling* pada *single crystal silicon* [9-11]. Halangan secara teknologi yang mesti diatasi pada proses pemesinan material getas adalah proses pemesinan akan menyebabkan kerusakan pada permukaan dan juga sedikit di bawah permukaan (sub surface). Tentu saja hasil proses pemesinan yang menimbulkan kerusakan pada permukaannya tidak dapat digunakan, apalagi jika diaplikasikan untuk peralatan optik misalnya.

Untuk mendapatkan permukaan yang halus dan bebas cacat, sangatlah penting jika proses pemesinan dilakukan dalam keadaan ulet (*ductile cutting mode*). *Ductile cutting mode* adalah suatu terobosan teknologi untuk memperoleh permukaan yang bebas cacat dan retak pada material-material yang getas. Untuk mendapatkan *ductile cutting mode*, ukuran *uncut chip thickness* (tebal geram sebelum terpotong) haruslah sangat kecil. Ukuran kritis kedalaman potong (*depth of cut*) dan kondisi *high hydrostatic pressure* selama proses pemotongan berlangsung harus menjadi perhatian yang utama. Karena dengan kondisi seperti inilah maka *ductile cutting mode* akan bisa dicapai

Yang menjadi tantangan disini adalah bagaimana mendapatkan *ductile cutting mode* pada proses pemesinan konvensional, seperti proses bubut, dimana kedalaman potongnya bisa lebih dari 1 mm. Untuk itu maka serangkaian eksperimen proses pemesinan bubut pada kaca akan dilakukan untuk mencari parameter optimum dari proses pemesinan kaca. Selain itu juga akan diteliti umur pahat yang digunakan dan proses pendinginan apa yang mampu untuk memperpanjang umur pahat. Sehingga nantinya akan berdampak pada nilai ekonomi proses pemesinan kaca jika nanti dapat diterapkan di masyarakat.

METODOLOGI PENELITIAN

Material Benda Kerja

Material benda kerja yang digunakan adalah kaca berbentuk silinder dengan panjang 100 mm dan diameter 25 mm. Kaca tersebut mengandung SiO_2 , B_2O_3 , $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ dan Al_2O_3 sebanyak berturut-turut 81%, 13%, 4% dan 2%.

Pahat Potong

Pahat potong yang digunakan adalah pahat HSS dengan ukuran 0,5 x 0,5 x 4 inci. Kekerasan dari pahat yang digunakan adalah 62,35 HRC. Sementara geometri pahat yang digunakan adalah *radius nose* 1 mm dan 5 mm, *end cutting edge angle* 5° dan *side cutting edge angle* 5° .

Parameter Pemesinan

Parameter kondisi pemesinan yang digunakan pada penelitian ini adalah putaran spindle 30 – 90 rpm, gerak makan 0,045 mm/rev, kedalaman potong 0,2 – 1 mm dan tiga kondisi pemesinan yaitu tanpa cairan pendingin (kering), dengan cairan pendingin dromus dan minyak nabati.

DATA DAN ANALISA

Kondisi Permukaan Kaca Hasil Proses Pemesinan

Dalam penelitian ini pengukuran kekasaran permukaan tidak dapat dilakukan karena kondisi permukaan kaca dikhawatirkan akan merusak ujung sensor (stylus) dari alat pengukur kekasaran permukaan. Sehingga keadaan permukaan kaca hasil proses pemesinan diamati dengan menggunakan mikroskop optik. Gambar 1 menunjukkan contoh permukaan kaca hasil proses bubut.

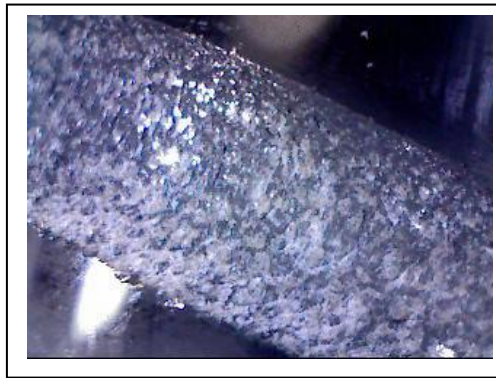
Pengaruh parameter pemesinan terhadap kondisi permukaan kaca juga dilakukan secara kualitatif. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 1. Dari tabel 1 terlihat bahwa kondisi permukaan benda kerja hasil proses pemesinan bubut yang menggunakan *radius nose* 5 mm lebih baik dibanding dengan pahat yang memiliki *radius nose* 1 mm. Hal ini disebabkan karena nilai *effective rake angle* dari pahat yang memiliki *radius nose* 5 mm lebih negatif daripada pahat yang mempunyai radius 1 mm. Hal ini sesuai dengan teori bahwa semakin negatif nilai *effective rake angle* nya maka pemesinan tersebut akan menghasilkan kondisi permukaan yang baik karena kemungkinan tercipta kondisi *high hydrostatic pressure* lebih besar terjadi.

Dari tabel 1 juga terlihat bahwa kondisi permukaan benda kerja hasil proses bubut yang menggunakan kecepatan putar spindle 30 rpm lebih bagus dibandingkan dengan yang

menggunakan kecepatan putar spindel 50 rpm dan 90 rpm. Pada proses permesinan benda getas seperti kaca ketika kecepatan putar spindel besar maka gesekan yang terjadi antara pahat dengan benda kerja semakin besar sehingga keausan pahat dan temperatur pahat juga akan meningkat. Keausan pada pahat akan sangat berpengaruh terhadap kondisi permukaan hasil proses permesinan bubut.

Sementara itu pada tabel 1 juga terlihat bahwa kondisi permukaan benda kerja hasil proses permesinan bubut dengan *depth of cut* 0,2 mm paling kasar dibandingkan dengan *depth of cut* 0,5 mm, 0,7 mm dan 1 mm. Kondisi permukaan yang terbaik didapat ketika *depth of cut* 0,5 mm yang diikuti oleh 0,7 mm dan 1 mm. Hal ini mungkin disebabkan karena pada saat *depth of cut* 0,2 mm yang terjadi hanya gesekan antara pahat dan benda kerja dan tidak terjadi proses pemotongan karena nilai *depth of cut* yang sangat kecil.

Kondisi permukaan benda kerja hasil proses permesinan bubut dengan menggunakan dromus menghasilkan kondisi permukaan paling bagus dibanding proses permesinan kering dan menggunakan minyak nabati.



Gb. 1. Kondisi Permukaan Kaca Hasil Proses Bubut dengan *Depth of Cut* 1 mm, kecepatan putar spindel 30 rpm, *radius nose* 5 mm dan *feed rate* 0,045 mm/rev.

Tabel 1. Kondisi Permukaan Benda Kerja dengan Variasi *Radius Nose*

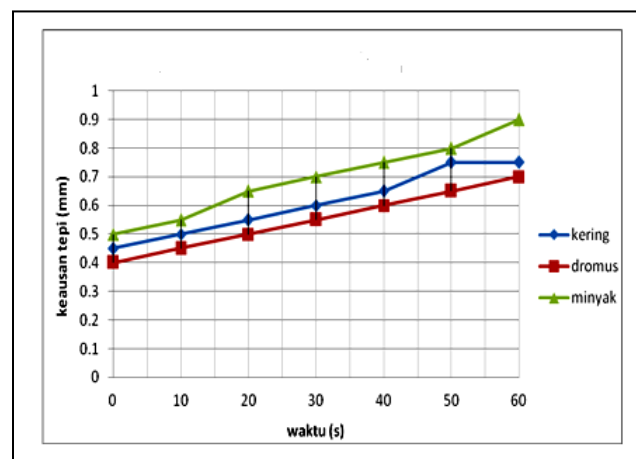
<i>Radius Nose</i>	Kondisi Permukaan
5 mm	Baik
1 mm	Jelek
Kecepatan Spindel	Kondisi Permukaan
30 rpm	Baik
50 rpm	Sedang
90 rpm	Jelek
Kedalaman Potong	Kondisi Permukaan
0,2 mm	Paling Jelek
0,5 mm	Baik
0,7 mm	Sedang
1 mm	Jelek
Kondisi Permesinan	Kondisi Permukaan
Kering	Sedang
Dromus	Baik
Minyak	Jelek

Keausan Pahat

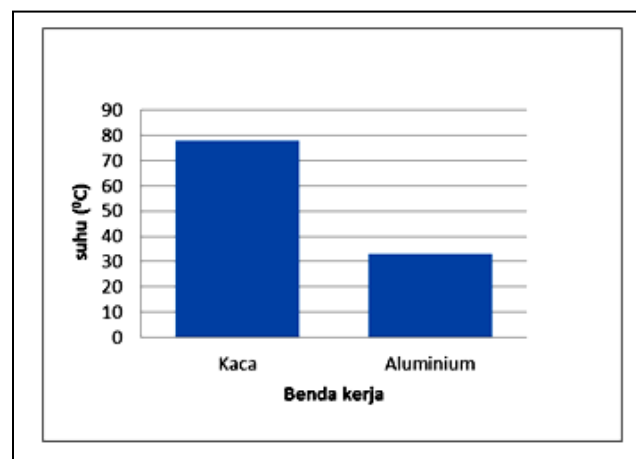
Penelitian keausan pahat pada proses bubut menggunakan pahat HSS dan dilakukan dengan tiga kondisi yang berbeda, yaitu kondisi permesinan kering (tanpa pendingin), dengan cairan pendingin dromus, dan minyak nabati. Hasilnya dapat dilihat pada gambar 2. Dari gambar 2

terlihat bahwa kondisi permesinan dengan menggunakan cairan pendingin dromus menunjukkan laju keausan yang paling rendah. Hal ini disebabkan cairan dromus terdiri dari campuran air dan minyak. Campuran pendingin ini sangat tepat digunakan sebagai pendingin karena dapat membantu mengurangi besarnya gesekan yang terjadi antara permukaan benda kerja dengan bidang aktif pahat. Selain itu dromus dapat membantu membersihkan geram yang mungkin menempel pada permukaan benda kerja sehingga mengurangi terjadinya gesekan yang semakin membuat pahat cepat aus. Sedangkan fungsi air pada dromus adalah sebagai pendingin sehingga temperatur yang terjadi pada bidang yang bergesekan akan turun, karena semakin besar temperatur yang terjadi maka keausan pahat juga akan meningkat. Pada kondisi permesinan dengan menggunakan cairan pendingin berupa minyak nabati, laju keausan pahat terlihat paling tinggi. Hal ini mungkin disebabkan pada minyak nabati tidak terkandung air sebagai pendingin. Minyak nabati hanya berfungsi sebagai pelumas dimana akan cenderung naik suhunya jika dipanasi. Kondisi bidang potong yang panas telah membuat suhu di sekitar bidang potong menjadi semakin meningkat dan akibatnya keausan pahat semakin cepat terjadi.

Untuk melihat besarnya temperatur yang terjadi saat proses permesinan kaca berlangsung maka dilakukan pengukuran temperatur pahat. Sebagai pembanding digunakan material aluminium cor. Posisi peletakan *thermocouple* pada pahat sekitar 1 mm dari bidang aktif pemotongan pahat. Hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar 3. Dari gambar 3 terlihat bahwa temperatur pada proses permesinan kaca jauh lebih tinggi dibanding pada permesinan aluminium. Gesekan yang terjadi antar permukaan kaca yang dibubut dan permukaan pahat membuat temperatur pada bidang aktif tersebut meningkat dengan cepat.



Gb. 2. Grafik pertumbuhan keausan tepi pahat HSS pada proses permesinan kaca



Gb. 3. Temperatur pahat pada saat proses permesinan kaca dan aluminium

KESIMPULAN

Dari data yang diperoleh dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses permesinan bubut pada kaca dapat dilakukan.
2. Kondisi *high hydrostatic pressure* didapatkan ketika nilai *effective rake angle* negatif.
3. Kondisi permesinan yang menghasilkan kondisi permukaan paling baik adalah ketika proses bubut dilakukan pada *radius nose* 5 mm, *depth of cut* 0,5 mm, *feed rate* 0,045 mm/rev, kecepatan spindle 30 rpm dan kondisi permesinan menggunakan cairan pendingin dromus.
4. Laju keausan tepi pahat HSS pada proses permesinan kaca sangat tinggi, sehingga dengan pertimbangan ekonomis pahat HSS tidak dapat digunakan.

REFERENSI

1. Blake, P.N., Scattergood, R.O., (1990), "Ductile regime machining of germanium and silicon", *Journal of the American Ceramic Society* 73, 949-957.
2. Cai, M.B., Li, X.P., Rahman, M., (2007), "Studi of the mechanism of nanoscale ductile mode cutting of silicon using molecular dynamics simulation", *International Journal of Machine Tool and Manufacture* 47, 75-80.
3. Leung, T.P., Lee, W.B., Lu, X.M., (1998), "Diamond turning of silicon substrate in ductile regime", *Journal of Materials Processing* 73, 42-48.
4. Shibata, T., Fujii, S., Makino, E., Ikeda, M., (1996), "Ductile regime turning mechanism of single crystal silicon", *Precision Engineering* 18, 129-137.
5. Boccacini, A.R., (1997), "Machinability and brittleness of glass ceramics", *Journal of Materials Processing Technology* 65, 302-304.
6. Fang, F.Z., Zhang, G.X., (2004), "An experimental study of optical glass machining", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 23, 155-160.
7. Matsumura, T., Hiramatsu, T., Shirakashi, T., Muramatsu, T., (2005), "A study on cutting force in the milling process of glass", *Journal of Manufacturing Processes* Vol. 7 No.2, 102-108.
8. Wan, Z.P., Tang, Y., (2009), "Brittle-ductile mode cutting of glass based on controlling cracks initiation and propagation", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 43, 1051-1059.
9. Rusnaldy, Ko, T.J., Kim, H.S., (2005) "Investigation of chip formation in micro end milling of single crystal silicon wafer," *Proceeding of Nanoengineering Symposium*, Daejeon, Korea.
10. Rusnaldy, Ko, T.J., Kim, H.S., (2007), "Micro-end-milling of single-crystal silicon," *International Journal of Machine Tool and Manufacture*, Vol. 47 Issue 1, 2111-2119.
11. Rusnaldy, Ko, T.J., Kim, H.S., (2008) "An experimental study on microcutting of silicon using a micromilling machine," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39, pp 85-91.