

Penilaian Haus Rusuk Bagi Sisipan Perkakas Daripada Komposit Alumina-Zirkonia Yang Difabrikasi Dengan Kaedah Pengacuan Suntikan Seramik

Sarizal Md Ani¹, Andanastuti Muchtar², Norhamidi Muhamad³, Jaharah A. Ghani⁴

¹Kampus Satelit CIAST ILP Selandar, Selandar, Melaka

²Jabatan Kejuruteraan Mekanik dan Bahan, Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM), Bangi, Selangor

sarizal@ciast.gov.my

Abstrak

Proses pengacuan suntikan seramik (CIM) berupaya menghasilkan komponen yang memiliki sifat mekanik bahan yang baik pada kos yang kompetitif. Sifat bahan yang baik dapat mengelakkan daripada berlakunya haus rusuk yang drastik ketika operasi pemesinan dan seterusnya menghasilkan prestasi kerja yang optimum. Justeru itu, kajian ini dijalankan untuk mengenal pasti nilai haus rusuk purata ($VB_B = 0.3$ mm) berpandukan kepada ISO 3685 *Tool-life Testing With Single-point Turning Tools* dengan menggunakan mikroskop boleh laras. Nilai haus rusuk sisipan perkakas yang dihasilkan kemudiannya dibandingkan dengan sisipan komersial bagi menilai potensinya. Ujian pemesinan mendapati haus rusuk sisipan perkakas meningkat selari dengan penambahan masa pemotongan dipercayai hasil daripada deformasi dan penyerpihan. Haus rusuk purata mencecah 0.3 mm pada masa pemesinan 4.37 min bagi sisipan perkakas yang difabrikasi hampir setara dengan sisipan perkakas komersial.

Kata Kunci: Alumina-zirkonia, pengacuan suntikan seramik, sisipan perkakas

Pengenalan

Proses pengacuan suntikan seramik (CIM) merupakan kombinasi di antara proses penyuntikan plastik dengan teknologi serbuk. Gabungan tersebut dapat menghasilkan produk yang berbentuk kompleks, bersaiz kecil, kos pembuatan yang murah dan kepersisian permukaan siap yang tinggi (German & Bose 1997). Secara asasnya proses CIM dibahagikan kepada empat peringkat iaitu proses pengadunan bahan suapan, pengacuan suntikan, penyahikatan dan pensinteran. Setiap proses memainkan peranan penting dalam menghasilkan produk akhir yang berkualiti.

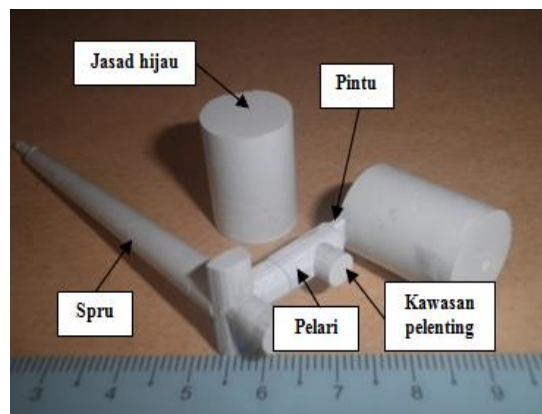
Teknik mampatan sejuk dan panas merupakan kaedah pembuatan yang lazim digunakan untuk menghasilkan sisipan perkakas seramik (Krar & Gill 2003). Walau bagaimanapun keupayaannya terbatas kepada bentuk yang kurang kompleks dan memerlukan banyak proses sekunder. Justeru itu kaedah CIM dilihat berpotensi untuk dibangunkan sebagai salah satu alternatif baru bagi menghasilkan sisipan perkakas. Proses CIM merupakan suatu teknik yang produktif disebabkan oleh kadar pengeluaran yang tinggi bagi setiap das penyuntikan dan ia secara tidak langsung menjadikannya lebih ekonomik.

Mekanisme haus pada sisipan perkakas ketika proses pemesinan adalah disebabkan oleh sentuhan dan geseran di antara perkakas pemotong dengan bahan kerja di bawah keadaan melampau. Oleh itu, kawasan pinggir perkakas terdedah dengan tegasan serta suhu yang tinggi sehingga menyebabkan haus berlaku (Kalpakjian & Schmid 2013). Senthil Kumar et al. (2006) menegaskan haus rusuk mendominasi ragam haus bagi sisipan perkakas yang berasaskan kepada bahan seramik berbanding dengan haus kawah dan haus takukan. Haus rusuk juga merupakan indikator penting dalam menentukan jangka hayat sisipan perkakas. Justeru itu, penyelidikan ini difokuskan untuk menentukan haus rusuk bagi sisipan perkakas yang difabrikasi bertujuan menilai potensi kaedah CIM dalam pembuatan sisipan perkakas seramik.

Metodologi Kajian

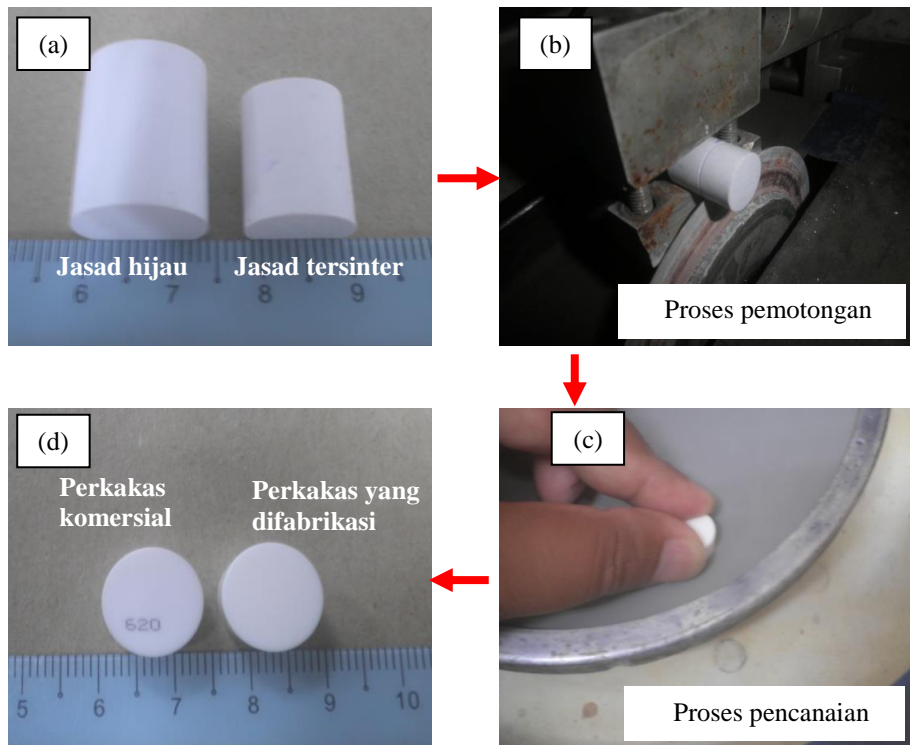
Bahan suapan yang digunakan adalah kombinasi serbuk alumina dengan zirkonia serta bahan pengikat yang terdiri daripada polietilena berketumpatan tinggi (HDPE), lilin parafin (PW) dan asid stearik (SA). Campuran komposisi serbuk alumina dengan zirkonia masing-masing adalah pada kadar 80% dan 20% berat. Serbuk alumina (AL-160SG-1) dibekalkan oleh Showa Denko. Manakala serbuk zirkonia (KZ-3YF) dibekalkan oleh KCM Corporation. Saiz dan ketumpatan purata serbuk alumina-zirkonia selepas proses pencampuran adalah $0.31 \mu\text{m}$ dan 4.46 g/cm^3 .

Serbuk alumina-zirkonia tersebut, kemudian diadunkan bersama bahan pengikat dengan menggunakan mesin pencampur dalaman (Brabender W 50 EHT). Kadar pembebanan serbuk alumina-zirkonia yang digunakan adalah pada 57% isipadu. Manakala komposisi bahan pengikat yang digunakan pula adalah 50% HDPE, 46% PW dan 4% SA berat. Proses pencampuran bahan dilakukan pada suhu 140°C dengan halaju 20 rpm selama 30 minit. Seterusnya, proses pemptiran bahan suapan dilakukan dengan menggunakan mesin penghancur (Strong Crusher TSC-5JP). Kemudian bahan suapan akan disuntik ke dalam rongga acuan yang berbentuk silinder ($\text{Ø}15\text{mm} \times 21\text{mm}$) dengan menggunakan mesin suntikan jenis skru (Battenfeld BA 250 CDC) seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1. Parameter bagi setiap proses pengacuan suntikan seramik telah dioptimumkan (Md Ani et al. 2013). Proses penyahikatan dua peringkat (pelarut dan haba) telah digunakan untuk menyingkirkan bahan pengikat daripada komponen suntik.



Rajah 1: Bentuk komponen suntik (jasad hijau)

Proses pensinteran dilakukan pada suhu 1650°C . Komponen suntik seterusnya dipotong kepada dua bahagian bagi membentuk sisipan perkakas. Sisipan perkakas kemudiannya dicanai dengan menggunakan kertas silikon karbida bagi mendapatkan kemasan permukaan yang baik. Rajah 2 menunjukkan proses fabrikasi sisipan perkakas. Perbandingan sifat bahan di antara perkakas yang difabrikasi dengan komersial seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 1. Setelah dicanai, ukuran dimensi sisipan perkakas menghampiri saiz piawaian RNGN 120700 sebelum digunakan untuk melarik besi tuang kelabu (gred AS1830-T170, 90 HRB). Halaju pemesanan, kadar suapan dan kedalaman pemotongan ditetapkan pada 200 m/min, 0.35 mm/putaran dan 1 mm. Sisipan perkakas tersebut diapit pada pemegang perkakas CRSNR2525M12-ID (Sandvik).



Rajah 2: Proses fabrikasi sisipan perkakas

Jadual 1: Sifat bahan bagi perkakas yang difabrikasi dan komersial

Sifat bahan	Perkakas yang difabrikasi	Perkakas komersial
Proses pembuatan	Pengacuan seramik	Kaedah mampatan sejuk-pensinteran-HIP
Bentuk geometri	RNGN 120700	RNGN 120700
Komposisi bahan (%berat)	Al ₂ O ₃ (80), ZrO ₂ (20)	Al ₂ O ₃ (96), ZrO ₂ (4)*
Ketumpatan (g/cm ³)	4.225	3.989
Kekerasan (GPa)	16.89	15.89*
Keliatan patah (MPa.m ^{1/2})	3.95	6.10*
Saiz ira (µm)	Al ₂ O ₃ : 1.44, ZrO ₂ : 0.64	Al ₂ O ₃ : 1.91 (2)*, ZrO ₂ : 0.67

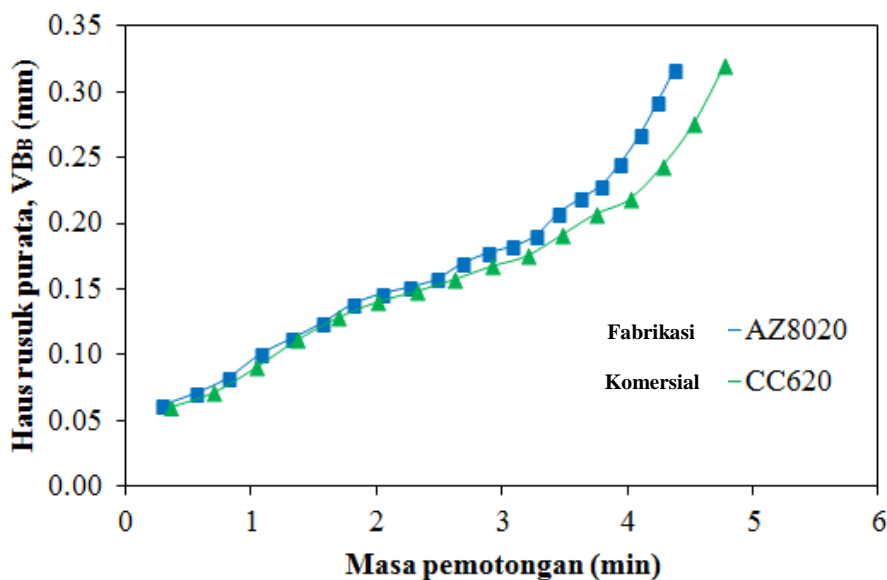
Sumber: Laugier 1985* dan Sarizal Md Ani 2017

Ujian pemesinan dilakukan dengan menggunakan mesin larik kawalan komputer berangka - CNC (Haas SL20) tanpa penggunaan bendalir pemotongan. Pengukuran haus rusuk merujuk kepada haus rusuk purata ($VB_B = 0.3 \text{ mm}$) berpandukan ISO 3685 (1993) *Tool-life Testing With Single-point Turning Tools* dengan menggunakan mikroskop boleh laras (Mitutoyo 176-812E). Manakala imej haus rusuk diambil dengan menggunakan mikroskop (Meiji Techno EMZ-13TR). Bagi mendapatkan imej dan peratusan unsur yang terkandung pada kawasan ira yang terpecah analisis dilakukan pada kawasan tumpuan dengan menggunakan SEM dan EDX (Hitachi SU8020 FESEM).

Keputusan dan Perbincangan

Haus pada rusuk sisipan perkakas adalah disebabkan oleh geseran di antara permukaan bahan kerja yang baru dimesin dengan kawasan pertemuan rusuk perkakas. Kawasan haus yang terbentuk adalah berserenjang dengan paduan arah pemotongan. Dalam kajian yang dilakukan pengukuran haus rusuk merujuk kepada haus rusuk purata (VB_B) kerana keadaan lebar haus rusuk yang malar. Graf pada Rajah 3 menunjukkan kesan masa pemesinan terhadap haus rusuk purata bagi sisipan perkakas yang difabrikasi dan perkakas komersial. Daripada graf yang diperolehi didapati peningkatan masa pemesinan adalah sejajar dengan peningkatan haus rusuk perkakas. Haus rusuk purata ketika larian pertama dilakukan masing-masing adalah 0.061 mm (fabrikasi) dan 0.060 mm

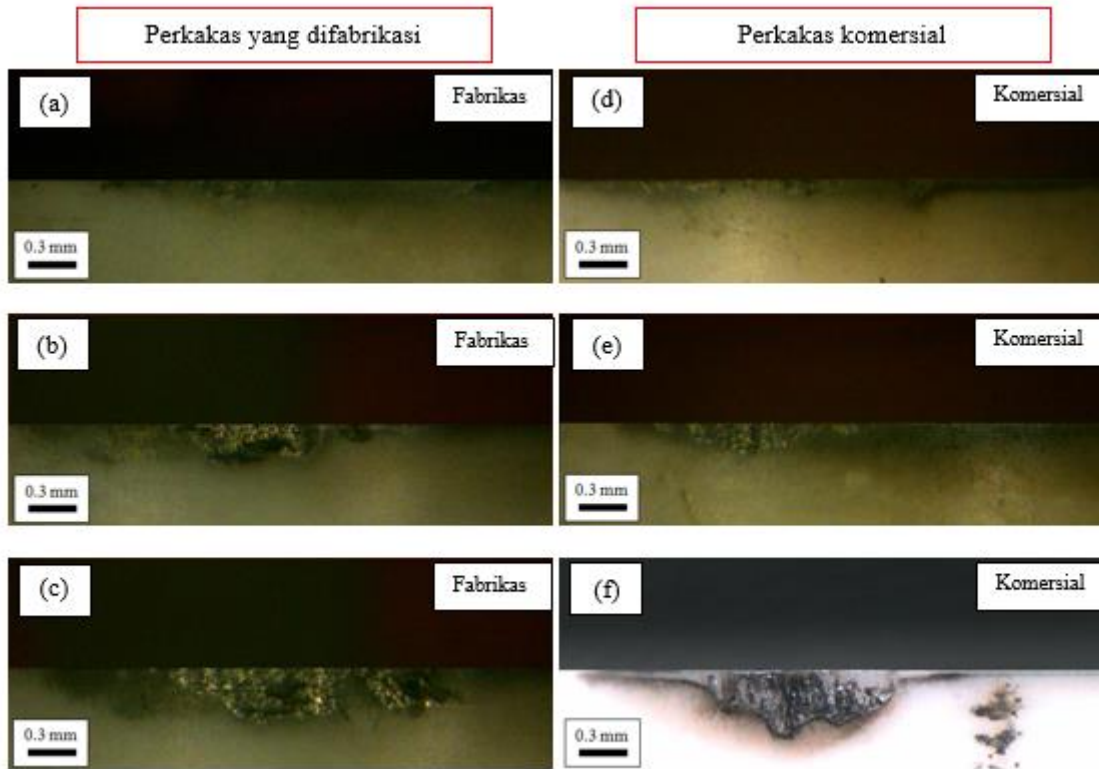
(komersial). Kemudian peningkatan haus rusuk pada kadar malar berlaku sehingga masa pemesinan 3.5 min. Pada keadaan tersebut nilai haus rusuk purata masing-masing adalah sekitar 0.207 mm (fabrikasi) dan 0.191 mm (komersial). Namun selepas 3.5 min masa pemesinan kadar haus rusuk sisipan perkakas yang difabrikasi mula menunjukkan peningkatan yang ketara. Haus rusuk purata mencecah 0.3 mm masing-masing pada masa pemesinan 4.37 min (fabrikasi) dan 4.77 min (komersial).



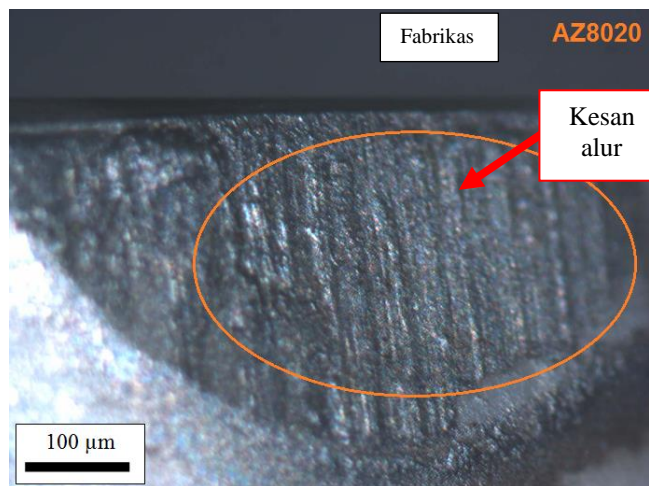
Rajah 3: Kesan masa pemotongan ke atas haus rusuk purata

Secara dasarnya kadar haus rusuk yang lebih rendah dicatatkan oleh sisipan perkakas komersial. Walau bagaimanapun perbezaan kadar haus rusuk purata yang dicatatkan hanya sekitar 0.01 mm pada kadar malar iaitu sehingga masa pemesinan 3.5 min. Nilai keliatan patah yang tinggi dipercayai menjadikan rintangan haus perkakas komersial lebih baik. Walaupun sisipan perkakas yang difabrikasi mempunyai saiz ira yang lebih kecil dengan nilai kekerasan dan ketumpatan yang tinggi namun kelebihan tersebut masih belum mencukupi untuk menjadikan kadar hausnya lebih rendah. Keadaan tersebut disebabkan kesan keliangan yang masih dapat dilihat di beberapa tempat pada mikrostrukturnya terutama pada kawasan pinggir perkakas. Hal yang demikian kerana bahan yang berkeletihan patah tinggi sering dikaitkan dengan kepadatan strukturnya yang tinggi (Bocanegra-Bernal et al. 2009). Kehadiran liang melemahkan ikatan antara ira dan selanjutnya mempercepatkan kadar haus perkakas setelah ikatan ira mula longgar, pecah serta tercabut sedikit demi sedikit akibat geseran semasa operasi pemesinan.

Imej haus rusuk secara progresif bagi sisipan perkakas yang difabrikasi dan komersial adalah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 4. Bagi setiap larian yang dilakukan kawasan haus rusuk perkakas mula berubah beransur-ansur bergantung kepada masa pemesinan. Kawasan haus didapati semakin melebar apabila nilai haus rusuk purata mencecah 0.3 mm. Pada peringkat awal pemesinan kesan alur tidak jelas kelihatan. Namun sejajar dengan peningkatan masa pemesinan kesan alur mula terbentuk dengan jelas memenuhi ruang kawasan haus yang semakin melebar seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 5. Keadaan ini mendominasi ragam haus bagi sisipan perkakas yang difabrikasi mahu pun perkakas komersial. Corak kehausan rusuk yang diperhatikan bertepatan dengan kajian yang telah dilakukan oleh Chonghai et al. (2010) dan Xu et al. (2009). Kesan alur yang terbentuk secara selari adalah mengikut arah pemesinan yang dilakukan dan akan lebih menonjol sekiranya halaju pemesinan dipertingkatkan.



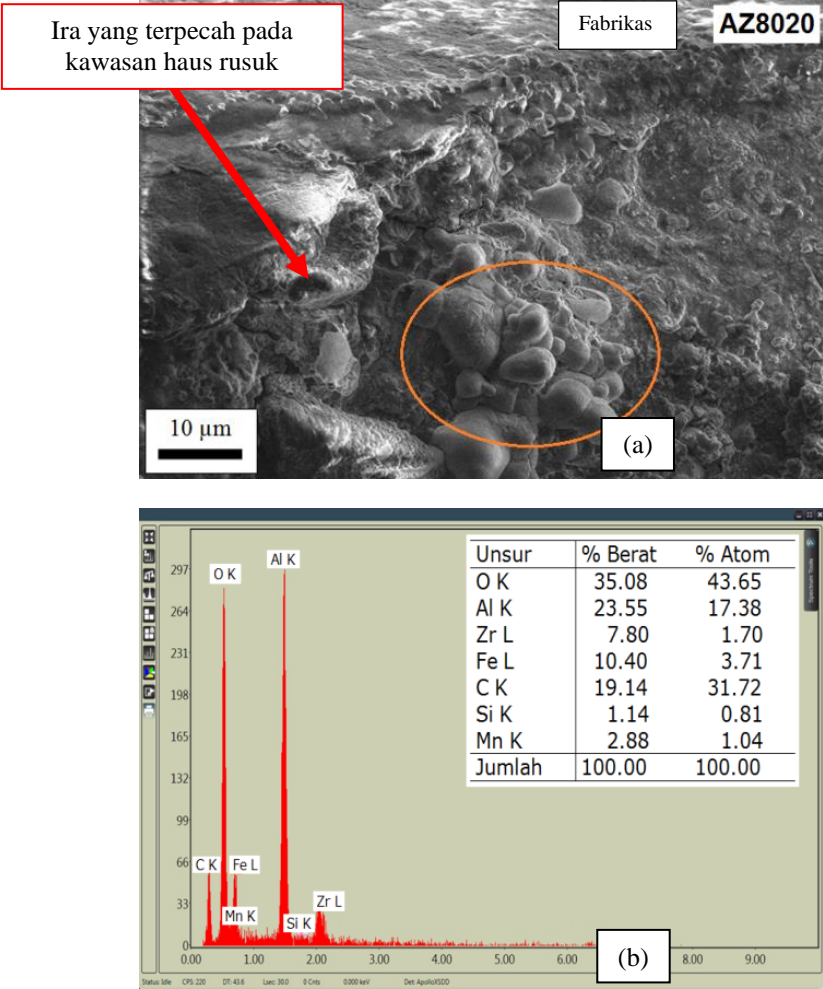
Rajah 4: Imej haus rusuk pada (a) $VB_B=0.151$ mm, $T=2.26$ min, (b) $VB_B=0.207$ mm, $T=3.45$ min, (c) $VB_B=0.316$ mm, $T=4.37$ min, (d) $VB_B=0.148$ mm, $T=2.31$ min, (e) $VB_B=0.207$ mm, $T=3.75$ min dan (f) $VB_B=0.319$ mm, $T=4.77$ min



Rajah 5: Kesan alur yang terbentuk pada kawasan haus rusuk

Mekanisme pembentukan alur terhasil daripada deformasi dan penyerpihan ira akibat geseran antara perkakas dengan bahan kerja. Geseran yang berlaku menyebabkan struktur ira pada perkakas pemotong terpecah dan menyerpoh sedikit demi sedikit. Gelinciran ira didapati lebih cenderung berlaku pada kawasan pinggir perkakas. Apabila masa pemesinan meningkat kehilangan ira menjadi lebih kerap dan seterusnya menyebabkan kehilangan isi padu yang banyak pada kawasan haus. Ira yang terkeluar memberikan daya ricihan kepada ira yang berada di sekelilingnya untuk turut sama terkeluar terutama perkakas yang difabrikasi kerana ikatan antara ira yang lemah berpunca daripada kehadiran liang. Menurut Goh et al. (1997) situasi tersebut menyebabkan struktur ira mudah dipecahkan sehingga berlaku gelinciran di sepanjang kawasan alur. Rajah 6 menunjukkan imej SEM dan analisis EDX di kawasan ira yang terpecah dan hampir terkeluar daripada kawasan haus rusuk. Sebahagian daripada ira yang terpecah akan terkeluar dan

melelas di sepanjang kawasan gelinciran menghasilkan alur yang lebih lebar sehingga haus rusuk mencecah nilai maksimum. Hasil analisis EDX pula menunjukkan kehadiran unsur bahan kerja pada kawasan tersebut disebabkan geseran dengan perkakas.



Rajah 6: (a) Imej SEM dan (b) analisis EDX di kawasan ira yang terpecah

Kesimpulan

Penilaian haus rusuk telah dilakukan bagi sisipan perkakas yang dihasilkan daripada komposit alumina-zirkonia yang difabrikasi dengan kaedah pengacuan suntikan seramik. Haus rusuk sisipan perkakas yang difabrikasi dan komersial hampir setara masing-masing adalah 4.37 min dan 4.77 min merujuk kepada haus rusuk purata ($V_{B} = 0.3 \text{ mm}$). Nilai ketiadaan patah yang tinggi menyebabkan haus rusuk sisipan perkakas komersial dapat bertahan lebih lama didorong oleh rintangan haus yang lebih baik. Kadar haus yang terbentuk secara berterusan pada muka rusuk mencapai haus maksimum tanpa mengalami sebarang kegagalan bencana. Secara keseluruhan sisipan perkakas yang dibangunkan dengan kaedah CIM berpotensi untuk dimajukan berdasarkan kepada pencirian sifat bahan dan prestasi pemesinan yang hampir setara dengan perkakas komersial. Justeru itu kaedah CIM dilihat sebagai salah satu alternatif baru untuk menghasilkan sisipan perkakas seramik yang sesuai digunakan bagi operasi pemesinan logam.

Rujukan

- Bocanegra-Bernal, M.H., Dominguez-Rios, C., Garcia-Reyes, A., Aguilar-Elguezabal, A., Echeberria, J. & Nevarez-Rascon, A. 2009. Fracture toughness of an α -Al₂O₃ ceramic for joint prostheses under sinter and sinter-HIP conditions. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* 27: 722-728.
- Chonghai, X., Yonglian, Z., Guangyong, W., Xinghai, W. & Huifa, Z. 2010. Rare earth ceramic cutting tool and its cutting behavior when machining hardened steel and cast iron. *Journal of Rare Earths* 28: 492-496.
- German, R.M. & Bose, A. 1997. *Injection Molding for Metal and Ceramic*. New Jersey: Metal Powder Industries Federation.
- Goh, G.K.L., Lim, L.C., Rahman, M. & Lim, S.C. 1997. Effect of grain size on wear behaviour of alumina cutting tools. *Wear* 206: 24-32.
- Kalpakjian, S. & Schmid, S.R. 2013. *Manufacturing Engineering and Technology*. New Jersey: Prentice Hall.
- Krar, S.F & Gill, A.R. 2003. *Exploring Advanced Manufacturing Technologies*. New York: Industrial Press Inc.
- Laugier, M.T. 1985. Toughness determination of some ceramic tool materials using the method of hertzian indentation fracture. *Journal of Materials Science Letters* 4: 1542-1544.
- Sarizal Md Ani. 2017. Pembangunan sisipan perkakas pemesinan daripada komposit alumina-zirkonia dengan kaedah pengacuan suntikan seramik. Tesis Dr. Fal, Jabatan Kejuruteraan Mekanik dan Bahan, Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Senthil Kumar, A., Durai, A.R. & Sornakumar, T. 2006. Wear behaviour of alumina based ceramic cutting tools on machining steels. *Tribology International* 39: 191-197.
- S. Md Ani, A. Mughtar, N. Muhamad, J.A. Ghani. 2013. Effects of injection temperature and pressure on green part density for ceramic injection molding. *Advanced Material Research* 622-623: 429-432.
- Xu, C.H., Feng, Y.M., Zhang, R.B., Zhao, S.K., Xia, X. & Yu, G.T. 2009. Wear behavior of Al₂O₃/Ti(C,N)/SiC new ceramic tool material when machining tool steel and cast iron. *Journal of Materials Processing Technology* 209: 4633-4637.