ALAT PEMOTONG KERAMIK: PERKEMBANGAN, KARAKTERISTIK DAN PROSPEK

Ceramic Cutting Tools:

Development, Characteristics and Prospects

Maulid Purnawan

Balai Besar Keramik, Jl. Jenderal Ahmad Yani No. 392 Bandung 40272 Telp.(022) 7206221
e-mail: maulidpurnawan@gmail.com

Naskah masuk: 1 Juli 2018, Revisi 1: 2 Agustus 2018, Revisi 2 :30 Agustus 2018, Diterima: 3 September 2018

ABSTRAK

alat pemotong di industri permesinan yang bekerja dengan kecepatan tinggi sekitar 100000-150000 rpm dengan laju pengumpanan diatas 100 m/menit memerlukan spesifikasi khusus yaitu kekerasan >14,5 GPa; ketangguhan > 4 MPa.m^{1/2} untuk *turning insert*, > 8 MPa.m^{1/2} untuk bor, dan > 15 MPa.m^{1/2} untuk tap dan ketahanan aus yang baik pada temperatur kerja tinggi. Spesifikasi tersebut dipenuhi oleh bahan keramik yang memiliki titik leleh yang tinggi, kekerasan tinggi, stabilitas kimia yang baik, ketahanan oksidasi tinggi dan ketahanan korosi yang baik. Secara umum, alat pemotong keramik dikelompokkan menjadi tiga yaitu alat pemotong berbahan dasar alumina, silikon nitrida dan alat pemotong yang di-coating bahan keramik dengan ketebalan 4-15 µm. Secara komersial alat pemotong berbahan keramik sudah diaplikasikan pada industri permesinan di Indonesia namun kebutuhannya masih diperoleh secara impor karena belum ada produsen alat pemotong keramik dalam negeri. Oleh karena itu, pengembangan industri alat pemotong keramik di Indonesia mempunyai prospek yang baik. Pengembangan produk alat pemotong keramik termutakhir antara lain alat pemotong yang dilapisi oleh AlTiN yang memiliki ketahanan termal dan waktu pakai yang lebih baik dibandingkan dengan senyawa karbida, alat pemotong berbasis cermet yang mampu bekerja pada kecepatan pemotongan 300-500 m/menit dan alat pemotong keramik diperkuat dengan *whisker* yang difabrikasi secara in situ atau substitusi karbon.

Kata Kunci: Alat Pemotong Keramik, Alumina, Silikon Nitrida, Ceramic Coating

ABSTRACT

utting tools in the machinery industry that work at high speeds around 100000-150000 rpm with feed rates above 100 m / min require special specifications namely hardness > 14.5 GPa, toughness > 4 MPa.m^{1/2} for turning inserts, > 8 MPa. m^{1/2} for drill, and > 15 MPa.m^{1/2} for tap and good wear resistance at

high working temperatures. The specifications are filled with ceramic material which has a high melting point, high hardness, good chemical stability, high oxidation and corrosion resistance. In general, ceramic cutting tools are grouped into three types, namely alumina-based cutting tools, silicon nitride and cutting tools which are coated with ceramic material with a thickness of 4-15 μm . Commercially, ceramic cutting tools have been applied to the machinery industry in Indonesia, but their needs are still imported because there are no domestic ceramic cutting tools manufacturers. Therefore, the development of the ceramic cutting tool industry in Indonesia has good prospects. Development of the latest ceramic cutting tool products are cutting tools coated with AlTiN which have better thermal resistance and wear time compared to carbide compounds, cermet-based cutting tools capable of working at cutting speeds of 300-500 m / min and whisker reinforced ceramic cutting tools which fabricated in situ or carbon substitution.

Keywords: Ceramic Cutting Tools, Alumina, Silicone Nitride, Ceramic Coating

I. PENDAHULUAN

Alat pemotong/ *cutting tools* adalah alat yang digunakan untuk memotong dan / atau mengurangi ukuran bidang kerja. Dalam industri permesinan, efektivitas alat pemotong berperan penting dalam menentukan efektivitas proses produksi. Pada saat proses permesinan berlangsung, mesin pemotong umumnya bergerak dengan kecepatan 100000-150000 rpm dan laju pengumpanan mencapai 100 m/menit[1]. Pada proses tersebut, alat pemotong mengalami kenaikan temperatur dan tegangan akibat gesekan dengan benda kerja. Pemilihan bahan alat pemotong yang tepat sangat berpengaruh terhadap

proses maupun hasil pemotongan. Karakteristik utama material untuk bahan alat pemotong antara lain kekerasan (*hardness*) yang harus lebih tinggi dibandingkan benda kerja (umumnya $> 14,5 \text{ GPa}$), ketangguhan (*toughness*) yang relatif tinggi (untuk *turning insert* $> 4 \text{ MPa.m}^{1/2}$, bor $> 8 \text{ MPa.m}^{1/2}$ dan *tap* $> 15 \text{ MPa.m}^{1/2}$) sehingga mampu mengatasi gaya impact pada saat proses permesinan dan ketahanan aus yang baik terutama pada saat temperatur kerja yang tinggi seperti yang diperlihatkan dalam spesifikasi minimum alat pemotong untuk proses permesinan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat mekanik minimal beberapa tipe alat pemotong permesinan baja [2]

Parameter	Turning insert	Bor	Tap
Kekerasan, GPa	>14,5	>14,5	>14,5
Ketangguhan, MPa. m ^{1/2}	>4	>8	>15
Kekuatan, GPa	>1	>1,5	>1,5

Karakteristik tersebut memiliki kesesuaian dengan karakteristik bahan keramik (misalnya: alumina memiliki kekerasan 17,2 GPa dan ketangguhan 4,3 MPa.m^{1/2}). Secara umum bahan keramik memiliki kekerasan yang tinggi, ketahanan termal yang tinggi, kekuatan suhu tinggi yang baik, daya tahan api, kerapatan rendah dan ketahanan aus, resistivitas listrik, dan ketahanan kimia yang lebih baik [3][4][5][6][7][8][9][10] seperti data yang diperlihatkan pada Tabel 2. Namun, bahan keramik memiliki beberapa sifat yang kurang

menguntungkan untuk diaplikasikan sebagai alat pemotong antara lain karakteristiknya yang rapuh / *brittle*, konduktivitas termal yang relatif rendah, kuat lentur yang rendah dan ketahanan kejut suhu yang kurang baik [10], sehingga dalam perkembangannya muncul berbagai upaya untuk meningkatkan kemampuan alat pemotong agar hasil yang diperoleh dari proses pemesian semakin baik dengan efektivitas yang tinggi. Secara komersial alat pemotong berbahan keramik sudah banyak digunakan pada industri permesinan di Indonesia namun kebutuhannya masih diperoleh secara impor karena belum ada industri dalam negeri yang memproduksinya. Sehingga pengembangan industri alat pemotong keramik di Indonesia mempunyai prospek yang sangat baik.

Tabel 2.Sifat Fisika dan Mekanik Bahan Keramik [9,11]

Bahan	Kekerasan, GPa	Ketangguhan, MPa.m ^(1/2)	Ketahanan aus	Koefisien muai panjang, K ⁻¹ x 10 ⁶	Kuat Lentur, MPa	Konduktifitas panas, W. M ⁻¹ K ⁻¹
Alumina (Al ₂ O ₃) ^[11]	17,2	4,3	1,00	8,0	700	10,5
Al ₂ O ₃ -ZrO ₂ ^[11]	16,5	6,5	1,18	8,5	-	8,0
Al ₂ O ₃ -TiC ^[11]	20,0	4,5	1,22	8,5	910	13,0
Al ₂ O ₃ -TiC ^{whisker} ^[11]	18,8	6,8	1,37	6,4	-	15,0
Si ₃ N ₄ /Sialon ^[11]	15,6	6,5	1,34	3,1	760	9,7
Niobium Karbida (NbC) ^[9]	24				200-400	
Titanium Karbida (TiC) ^[9]	18-32				200-400	
Tungsten Karbida (WC) ^[9]	18-24				560	

II. PERKEMBANGAN ALAT PEMOTONG KERAMIK

Alumina sebagai alat pemotong mulai diteliti pada tahun 1905 di Jerman dan diterbitkan paten di Inggris tahun 1912 dan di Jerman tahun 1913. Produk alat pemotong komersial pertama dengan merk “degussit” diperkenalkan pada tahun 1942 di Jerman dan di Uni Soviet pada tahun 1945 dengan merk “Microlite” yang dikembangkan oleh Institut Teknik Kimia di Moskow[7]. Pada tahun 1954 di Amerika, PT Ford Motor pertama kali memproduksi secara massal alat pemotong keramik berbasis alumina untuk mesin *finishing* dari roda gigi standar. Namun produk yang dibuat dari bahan alumina murni tersebut masih memiliki kelemahan terutama pada sifat ketangguhan dan kehandalan produk. Pada tahun 1970, penelitian alat pemotong keramik ditujukan untuk perbaikan struktur mikro, meningkatkan nilai ketangguhan dan mengendalikan keadaan permukaan. Beberapa cara yang dilakukan adalah dengan mengendalikan proses fabrikasi melalui penggunaan sistem pencetakan *hot press* sehingga kepadatan dan tingkat sintering dari alat pemotong semakin baik. Selain

itu, penambahan bahan aditif ke dalam alumina yang berfungsi sebagai *sintering aid* dapat memperbaiki ketangguhan dan kekerasan alat pemotong. Beberapa contoh komponen tambahan yang biasa digunakan antara lain $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}$, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiB}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ti(CN)}$, $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{WTi})\text{C}$, dan $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Whisker Silikon karbida } (\text{SiC}_w)$ [12][13][7]. Penambahan zirkon dioksida berfungsi untuk meningkatkan kekuatan dan *fracture toughness* [14][15]. Pada tahun 1973, mulai dikembangkan pelapisan / *coating* alat pemotong menggunakan senyawa karbida dengan ketebalan 2-10 μm . Proses pelapisan umumnya menggunakan teknik *Chemical Vapour Deposition* (CVD) dan *Physical Vapour Deposition* (PVD).

Pada tahun 1980an, produsen alat pemotong mulai mengembangkan material baru sebagai bahan baku alat pemotong yaitu silikon nitrida[7]. Alat pemotong berbasis silikon nitrida mempunyai ketangguhan, ketahanan aus, dan *fracture toughness* yang lebih baik dibandingkan dengan alat pemotong berbasis alumina murni. Namun alat pemotong ini tidak disarankan untuk diaplikasikan pada permesinan baja dan tidak efektif untuk proses permesinan yang

kontinu. Sekarang ini terdapat banyak variasi dari silikon nitrida, salah satu contohnya adalah silikon-aluminium oksinitrida atau yang sering disebut sialon. Sialon merupakan larutan padat silikon nitrida (Si_3N_4) dimana sebagian ikatan Si-N digantikan dengan ikatan Al-N dan Al-O. Sialon mampu bekerja pada kecepatan mesin 460-1500 m/menit[7][16][8].

III. MATERIAL ALAT PEMOTONG KERAMIK

Pada umumnya alat pemotong keramik dikelompokkan dalam tiga kategori yaitu alat pemotong berbasis alumina, alat pemotong berbasis silikon nitrida dan alat pemotong yang dilapisi keramik[1][17][3][18]. Tabel 2 menampilkan beberapa karakteristik material keramik untuk alat pemotong.

Gambar 1. Perbandingan Sifat Bahan Material Alat Pemotong (Katarina Geric, 2010)[9]

Alat pemotong berbasis alumina

Alumina adalah bahan keramik pertama yang digunakan sebagai alat pemotong[19][17][20][7][9]. Titik leleh alumina yang tinggi (2072°C)[3] membuatnya mampu beroperasi pada bidang kerja dengan suhu operasi

sampai 1950°C dan kekerasan sekitar 15,7 GPa skala vickers[3]. Alat pemotong alumina cocok digunakan untuk memotong logam keras dan rapuh dengan kecepatan tinggi seperti besi cor dingin atau baja yang dikeraskan, paduan tembaga, grafit

dan bahan komposit[8]. Al_2O_3 memiliki afinitas yang besar terhadap aluminium. Alat pemotong keramik alumina akan sangat aus jika digunakan untuk memotong aluminium dan bahan paduannya sehingga tidak cocok untuk diaplikasikan pada bidang kerja olahan aluminium dan paduan aluminium.

Alat pemotong alumina secara konvensional dibentuk secara *press* dingin dan dibakar pada suhu tinggi yaitu sekitar 1650-1700 °C. Namun sifatnya yang rapuh membuatnya mudah retak dan gumpil[8] sehingga waktu pakainya singkat. Untuk memperbaiki kelemahan tersebut para peneliti melakukan perbaikan pada proses pembentukan yaitu menggunakan *hot press*. Proses ini mampu mengontrol densifikasi alumina menjadi lebih sempurna sehingga meningkatkan nilai ketangguhan dan menurunkan suhu sintering.

Selain perbaikan pada proses pembentukan, banyak peneliti yang menambahkan bahan aditif untuk memodifikasi sifat mekanik alat pemotong alumina. Penambahan elemen logam (Cr, Co, Mo, Fe, W, Ti) maksimum 10 % pada alumina membentuk keramik logam, namun

menghasilkan alat pemotong lebih korosif dan lebih mudah berdeformasi pada kecepatan kerja tinggi karena kehadiran unsur logam mengakibatkan meningkatnya kelenturan campuran tersebut[8].

Bahan aditif lain yang digunakan adalah senyawa karbida yaitu menjadi keramik Al_2O_3 -karbida. Keramik Al_2O_3 -karbida dibuat dengan menambahkan Mo_2C , WC, TiC, TaC, NbC, Cr_2O_3 dan karbida lain dengan persentase 10-45 % terhadap Al_2O_3 [21]. Keramik jenis ini dibuat dengan metode *hotpress* pada suhu antara 1300-1400 °C. Keramik Al_2O_3 -karbida memiliki kekuatan dan kekerasan yang lebih tinggi daripada Al_2O_3 murni. Hal ini disebabkan senyawa karbida mengisi ruang kosong dalam Al_2O_3 sehingga efektif meningkatkan kepadatan alat pemotong. Deng Jianxin dkk (tahun 2010)[13] membuat $\text{Al}_2\text{O}_3/45\% \text{v TiC}$ menghasilkan bahan dengan densitas $6,5 \text{ g/cm}^3$ (density alumina $3,98 \text{ g/cm}^3$). Penelitian keramik nanokomposit keramik yang dipelopori oleh Niihara dan Nakahira mengungkapkan bahwa penambahan aditif 5 %v nanopartikel SiC terhadap Al_2O_3 meningkatkan kekuatan dari 350 MPa menjadi 1,0 GPa. Selain metode *hotpress*, penelitian terbaru dilakukan menggunakan metode

sintering gelombang mikro / *microwave* sintering. Metode ini memanfaatkan gelombang elektromagnetik yang diserap oleh material sehingga menyebabkan partikel di dalamnya bervibrasi dan terjadi tumbukan antar partikel yang menghasilkan panas yang terdistribusi secara homogen di seluruh volume material[6]. Distribusi panas yang homogen mampu menurunkan suhu sintering material dan periode proses yang lebih singkat. Yu Cheng dkk. [6] menggunakan metode sintering gelombang mikro untuk membuat alat pemotong $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}$ yang dibentuk secara *press* dingin menggunakan cetakan baja dengan tekanan 180-200 MPa selama 2 menit dan disinter dalam tungku *microwave* 2,45 GHz pada suhu 1700 °C dengan kecepatan 50-60 °C/menit dan penahanan selama 10 menit menghasilkan alat pemotong dengan densitas 4,41 g/cm³ dan kekerasan vickers sebesar 21,3 GPa.

Pada proses sintering dengan metode *hot press*, panas dari elemen pemanas ditransfer secara konduksi dan merambat secara gradien mulai dari permukaan dan secara bertahap merata sampai bagian tengah alat pemotong. Perpindahan secara konduksi ini mengakibatkan adanya

perbedaan tegangan termal antara permukaan alat pemotong dan bagian tengahnya. Perbedaan tegangan termal tersebut mempengaruhi keseragaman tingkat sintering dan sifat mekanik alat pemotong.

Berbeda dengan metode *hot press*, pada metode sintering menggunakan gelombang mikro, panas dihasilkan melalui vibrasi partikel karena menyerap gelombang elektromagnetik. Proses tersebut secara efektif menghasilkan temperatur dan tegangan termal yang merata di seluruh volume alat pemotong sehingga produk yang dihasilkan memiliki tingkat sintering yang merata dibandingkan dengan sintering melalui metode *hotpress*.

Metode *hot press* dan sintering gelombang mikro membutuhkan biaya investasi tinggi dalam aplikasinya. Oleh karena itu, Purnawan, dkk.[12][22] menginisiasi metode sintering untuk membuat komposit $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}$ dengan cara substitusi karbon menggunakan peralatan tungku sederhana. Karbon yang berasal dari silikon karbida disubstitusikan ke TiO_2 pada temperatur 1700 °C membentuk TiC. Metode ini tidak memerlukan biaya peralatan yang mahal namun masih memerlukan energi yang cukup tinggi

untuk pembakaran dengan suhu 1700 °C.

Alat Pemotong berbasis Silikon Nitrida

Keramik silikon nitrida mempunyai ketahanan kejut suhu dan ketangguhan yang tinggi. Keramik ini merupakan padatan dengan ikatan kovalen yang umumnya ada dalam 3 bentuk struktur mikro yaitu α -, β - dan γ -Si₃N₄[23]. Silikon nitrida adalah keramik kinerja tinggi yang ideal untuk diaplikasikan dalam proses permesinan karena mempunyai sifat fisika, kimia, dan termal yang mengesankan. Sifat fisik dan mekaniknya meliputi kekuatan tinggi, ketangguhan patah yang baik, kekerasan tinggi, ketahanan aus yang sangat baik dan densitas rendah (3,17 g/cm³) serta mempunyai performa yang baik pada aplikasi suhu tinggi dengan ketahanan deformasi yang baik, konduktivitas termal yang tinggi dan koefisien ekspansi termal rendah dikombinasikan dengan ketahanan kejut suhu yang baik. Secara kimiawi, silikon nitrida sangat tahan korosi[23][24][17]. Silikon nitrida cocok digunakan pada kondisi kerja permesinan dengan kecepatan tinggi yang memerlukan material dengan kepadatan/densitas yang tinggi.

Namun, densitas silikon nitrida cukup rendah sehingga diperlukan *treatment* untuk meningkatkan kepadatannya. Sebagai suatu ikatan kovalen dengan difusivitas diri rendah yang inheren, silikon nitrida sulit untuk dimodifikasi kepadatannya tanpa bantuan kondisi tekanan tinggi pada proses sintering atau tambahan bahan aditif sebagai *sintering aid*. Paduan oksigen dan alumunium dalam silikon nitrida membentuk sialon mampu memperbaiki kelemahan ini dan meningkatkan ketahanan oksidasi dan korosi. Sialon merupakan larutan padat Silikon Nitrida (Si₃N₄) dimana sebagian ikatan Si-N digantikan dengan ikatan Al-N dan Al-O[7][16][8][23][25][26][27][28]. Bahan keramik lain seperti SiC, TiC dan Al₂O₃ ditambahkan sebagai bahan aditif untuk meningkatkan performa SiAlON yaitu untuk meningkatkan difusivitas termal, kekuatan mekanik, kekerasan dan kepadatan alat pemotong.

Ceram Tec sebagai produsen alat pemotong memproduksi SiAlON dengan penambahan bahan aditif serbuk SiC 35%[29] yang disintering dengan dua tahap tekanan gas sehingga menghasilkan *cutting tools* dengan kuat lentur sekitar 1 GPa[29]. Selain itu penambahan SiC pun

mampu meningkatkan difusivitas termal. Oksida logam seperti Y_2O_3 dapat dijadikan sebagai pengatur sintering. D H, Jack (tahun 1986)[17] mempelajari bahwa selama proses sintering, permukaan silikon nitrida bereaksi dengan alumina dan yttria membentuk fasa gelas pada suhu rendah yang berfungsi meningkatkan sifat mekanik SiAlON seperti ketahanan aus yang lebih tinggi dibandingkan dengan alat pemotong berbasis alumina[17].

Alat Pemotong yang dilapisi Bahan Keramik (senyawa karbida/senyawa nitrida)

Karbida adalah bahan yang paling umum untuk permesinan baja cor dan paduan baja. Peralatan ini memiliki ketangguhan yang tinggi, tetapi memiliki ketahanan aus yang lebih buruk dibandingkan dengan Boron Nitrida Kubik (CBN) dan keramik berbasis alumina. Untuk meningkatkan kekerasan dan kondisi permukaan, alat karbida dilapisi dengan bahan keras seperti TiN, TiAlN, dan TiCN melalui metode *physical vapour deposition* (PVD) dan *chemical vapour deposition* (CVD) dengan ketebalan berkisar antara 4-15 μm yang disimpan secara padat dan terikat pada substrat alat

pemotong untuk meningkatkan kinerja dan diterapkan setelah alat pemotong dibentuk. Pelapisan ini memberikan permukaan yang keras, stabil secara kimiawi serta meningkatkan ketahanan termal dan kinerja alat pemotong[20]. TiN dan TiCN dan TiAlN dilapisi senyawa karbida untuk aplikasi terhadap baja paduan dengan kekerasan 3,98 GPa (Dewes dan Aspinwall, 1997). CBN yang dilapisi karbida pun dapat digunakan untuk aplikasi khusus terutama *hard turning* dengan kekerasan benda kerja sampai 6,85 - 8,17 GPa (Liu et al., 2002)[15].

IV. PROSPEK ALAT PEMOTONG KERAMIK

Karakteristik bahan keramik yang memiliki kekerasan yang tinggi dan mampu beroperasi pada temperatur kerja yang tinggi menjadi dasar untuk aplikasi alat pemotong pada industri permesinan. Namun keunggulan tersebut dibatasi oleh beberapa kelemahan diantaranya ketangguhannya yang rendah dan tingkat kerapuhan yang tinggi. Penelitian paling mutakhir mengenai alat pemotong berbahan keramik telah mampu mengendalikan kelemahan tersebut sehingga mampu meningkatkan efektivitas dan masa

pakai alat pemotong keramik dalam aplikasi di industri permesinan [8].

Berikut ini adalah alat pemotong keramik yang berpotensi menjadi alat pemotong keramik untuk industri permesinan di masa depan.

Alat pemotong dilapisi keramik

Teknologi pelapisan alat pemotong oleh bahan keramik adalah topik yang banyak diteliti dalam beberapa tahun terakhir, seperti alat keramik dengan ketangguhan yang baik difabrikasi dengan metode *hot press*, CVD, PVD atau sol-gel. Lapisan TiN/TiAlN menggabungkan keunggulan TiN dan TiAlN. Pelapisan tersebut sangat cocok untuk pemotongan berkecepatan tinggi dan kering, memiliki ketahanan abrasi yang lebih baik dan umur pemakaian yang lebih lama, serta dapat menahan pemotongan yang relatif besar untuk mendapatkan kualitas permukaan yang lebih baik dibandingkan dengan alat pemotong keramik yang tidak dilapisi.

Pengembangan pelapisan bahan keramik selanjutnya adalah pelapisan AlTiN dengan kandungan unsur aluminiumnya lebih tinggi dibandingkan titanium. Kandungan aluminium yang lebih tinggi menyiratkan ketahanan panas yang

lebih baik. Lapisan ini diperoleh dari nanostrukturisasi lapisan pada kristal TiAlN dalam matriks berbasis AlN kubik. Lapisan AlTiN lebih stabil pada suhu tinggi jika dibandingkan dengan mikrokristalin TiAlN dan mempunyai waktu pakai yang lebih tinggi dibandingkan dengan lapisan senyawa karbida untuk pemotongan dengan kecepatan tinggi. Contoh yang paling luar biasa dari pelapis yang sukses ini adalah penggunaannya pada *endmills* untuk memotong baja *tempered* seperti yang digunakan untuk cetakan yang terbuat dari baja *tempered*[20].

Ti(C,N)- Alat potong berbasis cermet

Ti (C, N) -berbasis cermet adalah jenis komposit baru yang menggunakan serbuk TiC, TiN atau Ti (C, N) sebagai fasa keras dan menambahkan senyawa logam karbida seperti WC, TaC, VC, Ni-Mo (atau Mo₂C) sebagai pengikat. Alat pemotong yang dibuat oleh bahan ini dapat digunakan untuk mesin baja rapuh, baja paduan, besi cor, serat kaca dan bahan non-logam lainnya, baja permesinan akhir dan besi cor dengan kecepatan potong 300-500 m/menit[8][30][9].

Alat Pemotong Keramik yang diperkuat dengan *Whisker*

Komposit keramik yang diperkuat dengan *whisker* dapat meningkatkan kekuatan dan ketangguhan material komposit keramik. *Whisker* mempunyai modulus elastisitas yang tinggi sehingga sebagai aditif mampu meningkatkan kuat lentur dan ketangguhan material keramik[9]. Ketika volume fraksi *whisker* berkisar antara 15%-30%, beban dapat ditransfer secara efektif dari substrat ke *whisker*. Alat pemotong keramik yang diperkuat *whisker* memiliki ketangguhan dan ketahanan kejut suhu lebih baik, dapat digunakan untuk mesin baja diperkeras dan baja kekerasan menengah dengan kecepatan tinggi[8].

Penggunaan *whisker* pada aplikasi alat pemotong masih terbatas karena beberapa hambatan antara lain biaya yang cukup tinggi, bahaya kesehatan dan sulit terdispersi. Penumbuhan *whisker* TiC secara in situ, dapat meningkatkan kekuatan dan ketangguhan alat pemotong keramik dengan matrik Al_2O_3 . Metode ini dapat menumbuhkan *whisker* secara langsung pada matriks Al_2O_3 sehingga dapat mengurangi biaya dengan prosedur pembuatan yang

tidak rumit[9]. Selain metode tersebut, penumbuhan *whisker* TiC dalam matriks Al_2O_3 dapat dilakukan dengan cara substitusi karbon pada pembakaran dengan temperatur sekitar 1700oC[22].

V. KESIMPULAN

Alat pemotong keramik merupakan perkembangan teknologi permesinan yang memiliki prospek yang menjanjikan. Hal ini didasarkan pada karakteristiknya yang sesuai untuk digunakan pada proses permesinan dengan kecepatan tinggi yaitu titik leleh dan kekerasan tinggi, stabilitas kimia yang baik, ketahanan oksidasi dan suhu tinggi serta tahan korosi. Keunggulan tersebut dapat meningkatkan efektivitas dan umur pakai alat pemotong sehingga secara signifikan meningkatkan efektivitas proses permesinan. Secara umum, alat pemotong keramik dikelompokkan menjadi tiga yaitu alat pemotong berbahan dasar alumina, silikon nitrida dan alat pemotong yang dilapisi bahan keramik dengan ketebalan 4-15 μm . Pengembangan produk alat pemotong keramik yang berpotensi menjadi alat pemotong keramik untuk industri permesinan termutakhir antara lain alat pemotong yang dilapisi

oleh AlTiN yang memiliki ketahanan termal dan waktu pakai yang lebih baik dibandingkan dengan senyawa karbida, alat pemotong berbasis cermet yang mampu bekerja pada kecepatan pemotongan 300-500 m/menit dan alat pemotong keramik diperkuat dengan *whisker* yang difabrikasi secara in situ atau substitusi karbon.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. N. Grigor'ev dan V. V. Kuzin, "Prospects for tools with ceramic cutting plates in modern metal working," *Glas. Ceram.*, vol. 68, no. 7–8, hal. 253–257, 2011.
- [2] J. Vleugels, "Fabrication, Wear and Performance of Ceramic Cutting Tools," *Adv. Sci. Technol.*, vol. 45, hal. 1776–1785, 2006.
- [3] W dan D. Hitney, "Ceramic Cutting Tools," in *Comprehensive Hard Materials*, vol. 2, Parker; dan S. P., Ed. Elsevier Ltd, 2014, hal. 491–505.
- [4] Y. IŞIK, "The Performance Evaluation of Ceramic and Carbide Cutting Tools in Machining of Austempered Ductile Irons," *Uludag Univ. Fac. Eng. J.*, vol. 19, no. 2, hal. 67–76, 2014.
- [5] Y. M. Z. Ahmed, Z. I. Zaki, R. K. Bordia, D. H. A. Besisa, dan A. M. M. Amin, "Simultaneous synthesis and sintering of TiC/Al₂O₃ composite via self propagating synthesis with direct consolidation technique," *Ceram. Int.*, vol. 42, no. 15, hal. 16589–16597, 2016.
- [6] Y. Cheng, H. Hu, S. Sun, dan Z. Yin, "Experimental study on the cutting performance of microwave sintered Al₂O₃/TiC ceramic tool in the machining of hardened steel," *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.*, vol. 55, hal. 39–46, 2016.
- [7] I.-M. Li, Xing Sheng; Low, "Ceramic Cutting Tools - An Introduction," in *Key Engineering Materials*, 96 ed., vol. 96, Switzerland: Trans Tech Publications, 1994, hal. 1–18.
- [8] Y. Li, Long ; Li, "Development and trend of ceramic cutting tools from the perspective of mechanical processing Development and trend of ceramic cutting tools from the perspective of mechanical processing," in *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2017, vol. 94, hal. 1–5.
- [9] K. Geric, "Ceramics Tool Materials With Alumina Matrix," *Mach. Des.*, vol. 3, hal. 367–372, 2010.
- [10] W. P. Limited, *Advances in ceramic matrix composites* ©, 45

- ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2014.
- [11] B. North, “Ceramic Cutting Tools „A Review,” *Int. J. High Technol. Ceram.* 3, vol. 3, no. May 1986, hal. 113–127, 1987.
- [12] P. M., Sobron Yamin Lubis; Steven, Darmawan; Soewanto ,Rahardjo; Maulid, “Efek Temperature Sinter Bahan Alumina Pure dan Alumina A-12 terhadap Sifat Shrinkage dan Kekerasan,” in *Seminar Nasional Keramik XVI*, 2017, hal. 103–109.
- [13] D. Jianxin, D. Zhenxing, Y. Dongling, Z. Hui, A. Xing, dan Z. Jun, “Fabrication and performance of $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{W,Ti})\text{C} + \text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}$ multilayered ceramic cutting tools,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 527, no. 4–5, hal. 1039–1047, 2010.
- [14] Z. Bin Shamsudin, “DEVELOPMENT OF CERAMIC CUTTING TOOL INSERT OF ALUMINA (Al_2O_3) AND ZIRCONIA (ZrO_2) FOR TURNING HARDENED TOOL STEEL,” Universiti Teknologi Malaysia.
- [15] M. N. H. BIN HASSAN, “STUDY ON THE DEVELOPMENT OF CERAMIC CUTTING,” Universiti Teknologi MARA, 2010.
- [16] H. Kita, K. Hirao, H. Hyuga, M. Hotta, dan N. Kondo, *Review and Overview of Silicon Nitride and SiAlON , Including their Applications*, Second Edi. Elsevier Inc., 2013.
- [17] S. Hard dan T. A. Coventry, “Ceramic Cutting Tool Materials,” *Mater. Des.*, vol. 7, no. 5, hal. 267–273, 1986.
- [18] J. S. Ahmad, “Tool Wear in Machining Processes for Composites,” in *Machining Technology for Composite Materials ; Principles and Practice*, 1st editio., H. Hocheng, Ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2012, hal. 116–151.
- [19] A. Arora dan S. R. Parbhakar, “Ceramic Cutting Tools: Challenges And Prospects,” *Mater. Technol.*, vol. 18, no. 3, hal. 151–155, 2003.
- [20] L. N. L. de Lacalle, A. Lamikiz, J. F. de Larrinoa, dan I. Azkona, “Advanced Cutting Tools,” in *Machining of Hard Materials*, J. P. David, Ed. Springer, 2011, hal. 33–86.
- [21] T. F.; Md. dan M. A. B. Md., “Production of Titania Stabilized Alumina Ceramic Cutting Tool,” in *International Conference on Mechanical, Industrial and Energy Engineering*, 2014, hal. 2–5.

- [22] P. Maulid, R. Soewanto, dan L. M Sobron, "Pembuatan dan Karakterisasi Material Cutting Tools Alumina Aditif Titania," *J. Keramik dan Gelas Indones.*, vol. 26, no. 2, hal. 96–102, 2017.
- [23] B. G. O. Leary, "Carbothermal Reduction and Nitridation of Geopolymer-Carbon Composites :," Victoria University of Wellington in, 2012.
- [24] Y. Cai, "Synthesis and Characterization of Nitrogen-rich Calcium -Sialon Ceramics," Stockholm University, 2009.
- [25] Y. Russel L dan N. Bernard, "CERAMIC MATERIAL AND METHOD OF MANUFACTURE," 4,563,433, 1986.
- [26] T. Ekström dan M. Nygren, "SiAlON Ceramics," *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 75, no. 2, hal. 259–276, 1992.
- [27] Z. Vagnorius dan K. Sørby, "Effect of high-pressure cooling on life of SiAlON tools in machining of Inconel 718," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 54, no. 1–4, hal. 83–92, 2011.
- [28] E. Ayas, "MECHANICAL, ELECTRICAL AND THERMAL PROPERTIES OF α/β SiAlON - SiC COMPOSITES FABRICATED BY GAS PRESSURE SINTERING METHOD Erhan AYAS *," *Anadolu Univ. J. Sci. Technol. A*, vol. 17, no. 5, hal. 812–822, 2016.
- [29] B. Bitterlich, K. Friederich, dan H. Mandal, "SiAlON-SiC-Composites for Cutting Tools," *Adv. Sci. Technol.*, vol. 45, hal. 1786–1791, 2006.
- [30] L. Jaworska, M. Rozmus, dan a Twardowska, "Functionally graded cermets," *J. Achiev. Mater. Manuf. Eng.*, vol. 17, no. 1–2, hal. 73–76, 2006.