

Correlation of spindle speed on the outer thread precision of magnesium AZ31

Gusri Akhyar Ibrahim¹, Arinal Hamni¹, Sri Puji Maria²

¹Fakultas Teknik, Universitas Lampung
Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro, Gedong Meneng, Rajabasa, Kota Bandar Lampung, Lampung 35141
²Fakultas Kedokteran, Universitas Malahayati
Jl. Pramuka No.27, Kemiling Permai, Kec. Kemiling, Kota Bandar Lampung, Lampung 35151
Email korespondensi: gusri.akhyar@eng.unila.ac.id

Abstrak

Pengembangan magnesium telah dilakukan di berbagai bidang, salah satunya adalah bidang kedokteran sebagai material tanam (implant) di dalam tubuh. Material ini digunakan karena sifatnya yang sangat mirip dengan tulang dan bersifat mampu degradasi di dalam tubuh serta tidak bersifat racun. Kajian ini bertujuan untuk mendapat korelasi kecepatan putaran spindle terhadap tingkat kesalahan puncak ulir, sudut ulir dan jarak puncak ulir. Pengujian dilakukan menggunakan mesin CNC bubut dan material yang digunakan adalah magnesium AZ31. Parameter pemesinan dipilih adalah kecepatan putaran spindle 212, 318 dan 424 rpm, sedangkan kedalaman potong adalah sebesar 0,324761, 0,433015 dan 0,649523 mm. Tingkat kesalahan ulir diukur menggunakan profil proyektor dengan cara melewatkan cahaya pada benda kerja dan kemudian membaca ukuran. Kajian ini menunjukkan bahwa nilai kesalahan tinggi puncak ulir berkurang dengan peningkatan kecepatan putaran spindle benda kerja, di mana nilai kesalahan terkecil adalah sebesar 0,018188 mm, yang diperoleh pada parameter kecepatan putaran spindle 424 rpm dan kedalaman potong 0,433015 mm. Sedangkan peningkatan kecepatan putaran spindle secara signifikan memperbesar kesalahan jarak puncak ulir, di mana nilai kesalahan terbesar mencapai 12,9% yang terjadi pada kecepatan putaran spindle 318 rpm. Demikian juga profil permukaan ulir terbaik yaitu dengan sedikit permukaan berlubang, chattering mark dan feed mark didapatkan pada parameter kecepatan putaran spindle 424 rpm dan kedalaman potong 0,324761 mm, semakin tinggi nilai kecepatan spindle maka semakin kasar bentuk profil permukaan ulir.

Kata kunci: ulir, magnesium, kesalahan, permukaan, threading.

Abstract

Development of magnesium has been done in some areas. One of them is biomedical field as implant material in the human body. It was due to the similarity of magnesium with human bone and its degradability. This research aims to find the correlation spindle speed on errors of thread peak, thread angle and peak distance. The experimental trials were done by using CNC lathe and material used of magnesium AZ31. Selected parameters were spindle speed of 212, 318 and 424 rpm, depth of cut of 0.324761, 0.43015 and 0.649523 mm. Thread error levels were measured by using projector profile with lighting. The results showed that peak error reduced by increasing of spindle speed. The lowest peak error was 0.018188 mm which was obtained at spindle speed of 424 rpm and depth of cut of 0.433015 mm. Whereas, the increase of spindle speed increased peak distance error significantly. The highest peak distance error to reach 12.9% which was obtained at spindle speed of 318 rpm.

Keywords: thread, magnesium, error, surface, threading.

1. Pendahuluan

Material paduan magnesium dianggap sebagai material yang tersedia dalam jumlah yang banyak, bahkan jumlahnya mencapai sebesar 2% dari berat kerak bumi. Material magnesium juga dikategorikan sebagai salah satu material yang terlarut dalam air laut [1]. Bahkan material ini, masih tersedia dalam jumlah yang besar di bumi dan masih belum dimanfaatkan secara penuh, karena teknologi pengelolaan dan perindustriannya belum maju. Bahkan program pengembangannya diarahkan untuk pengganti material yang sudah mudah berkurang dengan memanfaatkan teknologi rekayasa material maju. Beberapa bidang yang sedang dikembangkan

penggunaan material magnesium diantaranya adalah otomotif, pesawat luar angkasa, mikro elektronik dan bidang material kedokteran sebagai pengganti tulang [2,3]. Di bidang otomotif dan pesawat luar angkasa, banyak digunakan karena sifat ringan magnesium sedangkan di bidang mikro elektronik digunakan lantaran pengantar listrik yang baik. Demikian juga di bidang biomaterial, magnesium digunakan karena sifatnya yang tidak beracun di dalam tubuh dan *biodegradable* [4].

Pengembangan material magnesium secara besar-besaran di bidang kedokteran, sebagai material pengganti tulang didorong oleh sifatnya yang istimewa yaitu sangat mirip dengan tulang.

Magnesium larut (*degradable*) dalam tubuh manusia dan tidak bersifat racun (*toxic*) [4]. Karena magnesium larut di dalam tubuh, ia menjadi aman dan tidak perlu dilakukan tindakan untuk mengeluarkan dari dalam tubuh [5]. Bahkan magnesium paduan memiliki tingkat degradasi lebih cepat di dalam ruang tulang sumsum dibandingkan dengan degradasi di ruang tulang kortikal [2]. Bahkan saat ini, terus dikembangkan untuk mendapatkan material yang memiliki tingkat degradasi yang tepat dalam rentang waktu tertentu.

Sebagaimana material *implant* di dalam tubuh manusia, berbagai bentuk komponen dibuat antaranya adalah pin pengikat plat, baut dan mur, *screw* penguat. Bagaimanapun juga, *screw* atau baut ulir adalah komponen yang banyak digunakan sebagai penguat apabila terjadi patah tulang [6]. Beberapa kajian di bidang pembuatan ulir penguat tulang dilakukan. Pembuatan sekrup ulir menggunakan material paduan magnesium AZ31, yang mana disimpulkan bahwa pemotongan magnesium menggunakan kecepatan tinggi sangat mudah menyebabkan geram magnesium terbakar. Oleh karena itu perlu didapatkan kecepatan yang tepat untuk pemotongan magnesium [5]. Pembuatan ulir diperlukan ketelitian sehingga proses permesinan dibutuhkan pemilihan kecepatan potong yang rendah, karena bila pemotongan kecepatan tinggi akan menimbulkan suhu yang tinggi juga. Pada pembuatan ulir diperlukan ketelitian hasil permesinan, salah satunya kesalahan puncak ulir dan pengaruh kedalaman potong terhadap kesalahan puncak ulir [7].

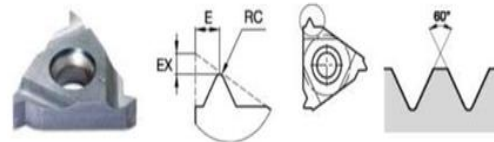
Bagaimanapun juga banyak hal yang perlu diperhatikan untuk mendapatkan tingkat kesalahan yang minimal. Parameter pemotongan seperti kecepatan potong, kedalaman potong, kecepatan pemakanan dan metode permesinan memberikan dampak langsung [5,7] Pada kajian ini adalah permesinan ulir magnesium dalam hal menentukan hubungan antara kecepatan putaran spindel terhadap kesalahan puncak ulir, kesalahan sudut dan juga kesalahan pengukuran. Tingkat kesalahan ulir yang rendah sangat diperlukan, karena komponen biomedik yang dibuat akan digunakan untuk penyambungan tulang dalam tubuh manusia. Pembuatan ulir metrik dengan standar M22 x 1.5 menggunakan material magnesium AZ31 dengan beberapa variasi parameter pemotongan diantaranya adalah kecepatan putaran spindel dan kedalaman potongan.

2. Metode

Pada kajian ini, permesinan bor dan ulir dilakukan terhadap material magnesium AZ31 yang mengandung komposisi kimia Al sebesar 3% dan Zn sebesar 1%. Material yang digunakan pada permesinan ini memiliki dimensi diameter sebesar 22 mm dan panjang sebesar 250 mm. Permesinan bubut ulir dilakukan menggunakan mesin CNC type Focus

NX-L300. Penggunaan mesin CNC dipilih untuk memudahkan dalam penentuan parameter yang tepat untuk satu kali pemotongan. Sedangkan pahat potong yang digunakan adalah jenis insert ulir 16ER AG60, yang mana material dasarnya adalah *High Speed Steel* (HSS). Material HSS dipilih dengan pertimbangan material yang dipotong adalah magnesium, di mana tingkat kekerasannya lebih rendah dari HSS. Pertimbangan teknis dan ekonomis juga dipertimbangkan, karena bahan ini mudah didapatkan dengan harga yang tidak terlalu tinggi.

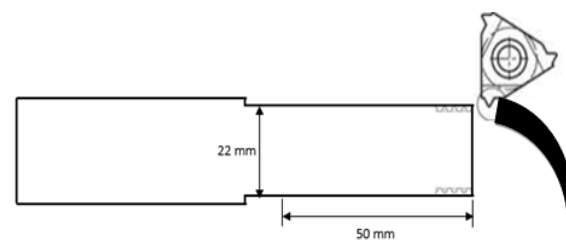
Jenis pahat insert yang digunakan pada kajian ini adalah pahat dengan radius sudut sebesar 0,08 mm dan ukuran puncak 0,50 – 3,0. Secara detail spesifikasi pahat ulir adalah sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 1. Setiap pahat yang digunakan berbentuk segitiga, di mana masing-masing sudutnya terdapat mata pisau untuk memotong. Sehingga terdapat 3 mata pahat yang digunakan untuk membuat ulir.



No. Katalog	RC	EX	E	Ukuran insert	Ukuran pitch
16ER AG60	0,08	1,2	1,7	3	0,50 – 3,0

Gambar 1. Geometri dan spesifikasi mata pahat ulir untuk permesinan magnesium.

Benda kerja yang digunakan adalah magnesium AZ31 yang berbentuk silinder pejal dengan diameter sebesar 22 mm dan Panjang 250 mm, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Permesinan dilakukan mengikuti standar ulir metrik M22 x 1.5. Pemilihan parameter pemotongan dilakukan pada kondisi kecepatan spindel adalah sebesar 212, 318 dan 424 rpm. Sementara kedalaman potong adalah sebesar 0,324761 mm, 0,433015 mm dan 0,649523 mm. Untuk kedalaman ulir yang diinginkan, pemotongan dilakukan beberapa kali sehingga sesuai dengan standar metrik yang disyaratkan, di mana permesinan dilakukan tanpa menggunakan pelumas (permesinan kering) [4].



Gambar 2. Geometri dan dimensi benda kerja magnesium yang digunakan.

Tingkat kesalahan puncak ulir, kesalahan sudut ulir dan kesalahan dimensi ditentukan dengan cara pengukuran menggunakan profil proyektor Multytoyo. Cara kerjanya adalah dengan meletakkan benda kerja di tempat pengukuran, kemudian mengarahkan pencahayaan, sehingga dapat terbaca ukuran dari ulir yang dibuat. Pengukuran dilakukan terhadap diameter mayor, diameter minor, kumulatif jarak, kesalahan sudut ulir. Pengukuran dilakukan secara seksama di bagian ulir yakni di sepanjang ulir, bahkan diambil pengukuran di beberapa bagian sehingga didapatkan nilai yang mewakili terhadap pengukuran secara keseluruhan. Secara detail desain kajian yang dilakukan dapat dilihat sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Desain kajian menggunakan metode faktorial penuh.

No	Putaran spindel (rpm)	Kedalaman potong (mm)
1	212	0,324761
2		0,433015
3		0,649523
4	318	0,324761
5		0,433015
6		0,649523
7	424	0,324761
8		0,433015
9		0,649523

Desain kajian yang digunakan adalah tipe faktorial penuh (*full factorial*), yang mana setiap faktor memberikan kontribusi masing-masing. Ada 3 faktor dan masing-masingnya memiliki 3 level, sehingga jumlah sampel yang diperlukan adalah sebanyak 9 sampel. Sementara respon yang diukur masing-masingnya adalah kesalahan tinggi ulir, kesalahan puncak dan kesalahan sudut ulir. Selain pengukuran respon, pengamatan terhadap kerusakan permukaan ulir juga dilakukan. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan kerusakan permukaan berkorelasi langsung dengan kerusakan ulir.

3. Hasil dan Pembahasan

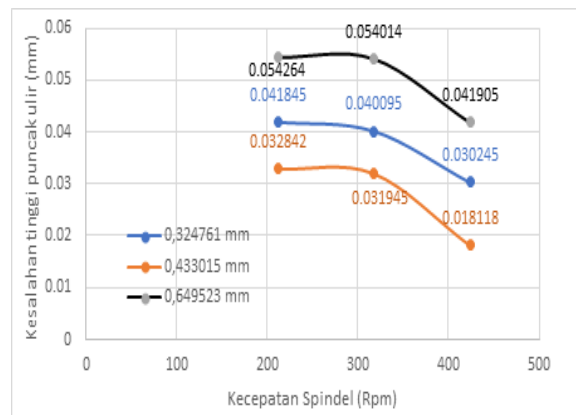
Dari pengujian yang dilakukan pada beberapa variasi parameter pemotongan ulir, data respon yang didapatkan sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 2. Kesalahan tinggi ulir, kesalahan puncak dan kesalahan sudut ulir didapatkan dengan cara pengukuran langsung. Tingkat kesalahan tinggi ulir dan kesalahan puncak adalah kecil dan angkanya lebih kecil dari 1 mm. sedangkan nilai kesalahan sudut ulir berkisar antara 0 – 2 derajat.

Tabel 2. Data hasil pengukuran dimensi ulir.

No	Putaran spindel (rpm)	Kedalaman potong (mm)	Kesalahan Tinggi Ulir (mm)	Kesalahan Pich (mm)	Kesalahan Sudut (°)
1	212	0,324761	0,041845	0,0337	0,603
2		0,433015	0,032842	0,0299	1,566
3		0,649523	0,054264	0,0205	1,66
4	318	0,324761	0,040095	0,0446	0,793
5		0,433015	0,031945	0,04	1,718
6		0,649523	0,054014	0,0281	1,832
7	424	0,324761	0,030245	0,0512	0,93
8		0,433015	0,018118	0,0447	1,796
9		0,649523	0,041905	0,0312	1,886

Pengaruh Kecepatan Spindel terhadap Kesalahan Tinggi Puncak Ulir

Gambar 3 menunjukkan nilai kesalahan tinggi puncak ulir pada beberapa variasi kedalaman potong. Secara umum nilai kesalahan tinggi puncak ulir menunjukkan kecenderungan yang sama, yaitu semakin meningkat kecepatan putaran spindel, maka nilai kesalahan puncak ulir semakin mengecil. Bagaimanapun juga peningkatannya masing-masing berbeda penurunannya. Pada kedalaman potong 0,649523 mm, nilai kesalahan puncak ulir adalah sebesar 0,054264 (pada kecepatan spindel 212 rpm), 0,054014 (pada kecepatan spindel 318 rpm) dan 0,041905 (pada kecepatan spindel 424 rpm). Meskipun penurunan nilai kesalahan puncak ulir tidak berbanding lurus, akan tetapi pada kecepatan putaran spindel yang lebih tinggi, nilai kesalahan puncak ulir juga semakin mengecil.

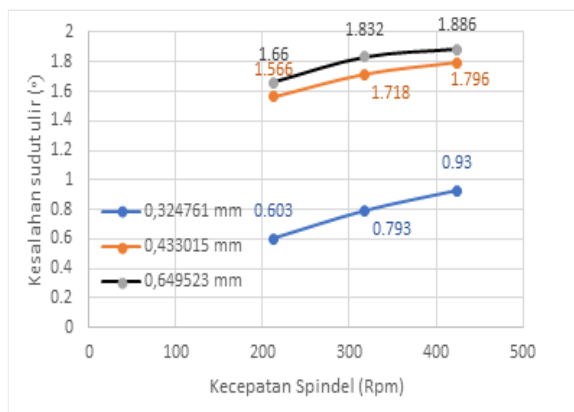


Gambar 3. Pengaruh kecepatan spindel terhadap kesalahan tinggi puncak ulir.

Pada kedalaman potong yang sama dan kecepatan spindel yang ditingkatkan, maka gaya yang dibutuhkan untuk memotong akan semakin kecil, sehingga mempermudah dalam pemotongan, hal ini menyebabkan menurunnya kesalahan tinggi puncak ulir seiring meningkatnya kecepatan spindel. Nilai kesalahan terkecil yaitu 0,018118 mm terdapat pada kecepatan spindel 424 rpm dengan kedalaman potong sebesar 0,433015 mm.

Pengaruh Kecepatan Spindel terhadap Kesalahan Sudut Ulir

Sudut pada ulir metrik memiliki standar dengan besar sudut 60°, sedangkan toleransinya yaitu 1,30. Pada kajian ini dapat dilihat pada Gambar 4, di mana grafik menunjukkan pengaruh kecepatan spindel terhadap kesalahan sudut ulir. Secara keseluruhan kesalahan sudut ulir cenderung bertambah dengan peningkatan kecepatan putaran spindel. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa untuk mengurangi kesalahan sudut ulir, maka sebaiknya kecepatan putaran spindel yang dipilih adalah yang rendah [8].



Gambar 4. Pengaruh kecepatan spindel terhadap kesalahan sudut ulir.

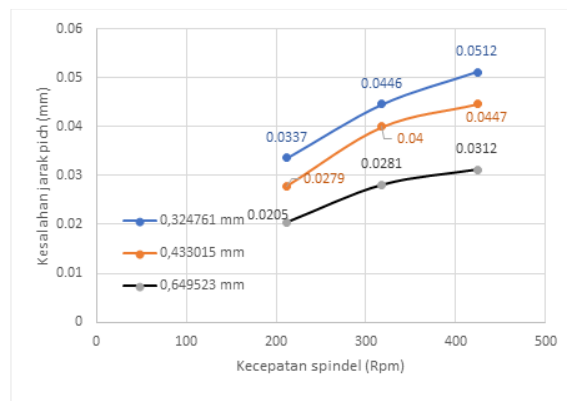
Pada Gambar 4 juga dapat diamati bahwa pada kecepatan putaran spindel yang berbeda, terlihat kecenderungan nilai kesalahan sudut ulir yang sama. Nilai penyimpangan sudut pada setiap kecepatan spindel meningkat seiring meningkatnya kedalaman potong. Hal ini menunjukkan bahwa pada kecepatan spindel yang tinggi terjadi beban gaya pemotongan yang lebih kecil sehingga menimbulkan kesalahan yang lebih besar [5, 9].

Pada kedalaman yang sama dan kecepatan spindel yang ditingkatkan, maka permukaan ulir akan lebih sering terjadi gesekan dengan pahat potong. Terjadinya gesekan antara geram dan benda kerja juga dapat mempengaruhi dimensi sudut ulir. Pada Gambar 4 didapatkan kesimpulan sementara bahwa semakin tinggi putaran spindel maka semakin besar nilai kesalahan sudut ulir. Nilai kesalahan sudut ulir terkecil terdapat pada kecepatan spindel 212 rpm dan kedalaman potong sebesar 0,324761 mm, sedangkan nilai kesalahan ulir terbesar terjadi pada kecepatan spindel 424 rpm dan kedalaman potong sebesar 0,649523 mm.

Pengaruh Kecepatan Spindel terhadap Jarak Puncak Ulir (Pitch)

Gambar 5 menunjukkan parameter pemotongan kecepatan spindel dalam mempengaruhi penyimpangan jarak *pitch*. Nilai penyimpangan tinggi puncak ulir atau tinggi ulir, menggambarkan kecenderungan yang sama dan konsisten pada setiap parameter kedalaman potongannya. Pengaruh

kecepatan putaran spindel secara signifikan memberikan pengaruh yang nyata, sehingga terlihat grafik meningkat secara tajam untuk semua kondisi pemotongan [10]. Sebagai contoh untuk kedalaman potong 0,324761 mm, nilai kesalahan puncak pada kecepatan spindel 212 rpm adalah sebesar 0,0337 mm. Nilai kesalahan puncak ulir meningkat menjadi 0,0446 mm pada kecepatan putaran spindel 318 rpm. Demikian juga pada kecepatan putaran spindel 424 rpm, nilai kesalahan puncak ulir menjadi 0,0512 mm. Artinya jika kecepatan putaran spindel, maka nilai kesalahan puncak ulir meningkat secara signifikan.



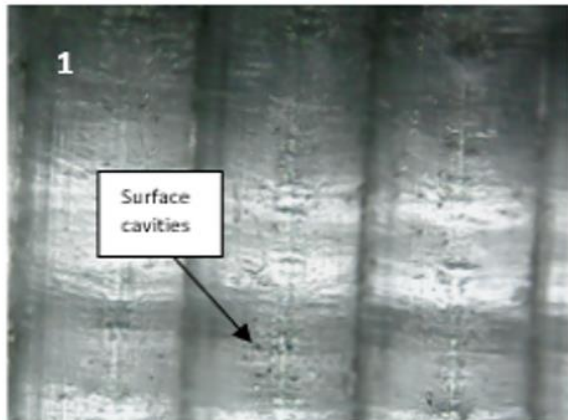
Gambar 5. Grafik pengaruh kecepatan spindel terhadap kesalahan jarak puncak ulir (pitch).

Secara keseluruhan fenomena yang sama terjadi pada variasi kedalaman potong yang berbeda-beda sebagaimana yang ditampilkan pada Gambar 5. Peningkatan nilai kesalahan puncak ulir terbesar terjadi pada kecepatan putaran spindel yang tinggi. Pada kecepatan spindel 324 rpm dan kedalaman potong 0,324761 mm. Peningkatan ini sebesar 12,9% dibandingkan dengan kesalahan puncak ulir pada kecepatan putaran spindel 318 rpm. Peningkatan ini disebabkan oleh peningkatan gaya potong yang searah dengan sumbu pemotongan, yang mana mengakibatkan peningkatan tegangan geser pada area pemotongan [8,11]. Selain itu kecepatan pemakanan juga semakin bertambah besar seiring meningkatnya kecepatan putar spindel yang mengakibatkan perpanjangan pada salah satu sisi pemotongan. Kedua hal inilah yang mengakibatkan jarak *pitch* menjadi semakin lebar. Oleh karena itu, persentase penyimpangan menjadi semakin tinggi.

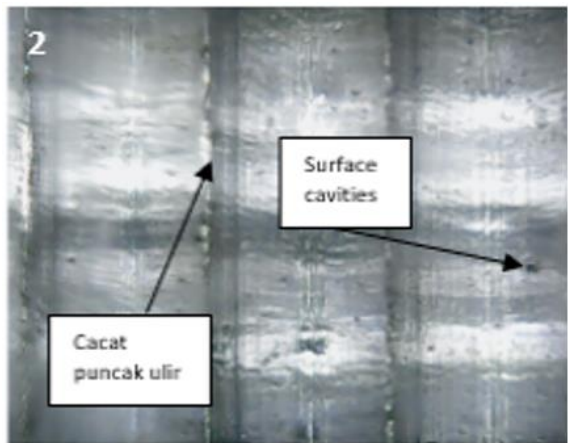
Pengaruh Kecepatan Spindel terhadap Bentuk Profil Permukaan Ulir Magnesium AZ31

Gambar 6 menunjukkan pengaruh kecepatan spindel pada bentuk profil permukaan ulir magnesium paduan AZ31 yang telah diproses menggunakan pahat ulir pada beberapa tingkat kedalaman potong yang berbeda. Tampak adanya kerusakan permukaan yang menyebabkan terjadi penyimpangan atau kesalahan pada tingkat presisi ulir. Terdapat permukaan yang berlubang yang kemungkinan disebabkan oleh sifat magnesium yang tidak tahan terhadap panas. Keadaan ini menyebabkan material permukaan tertarik keluar

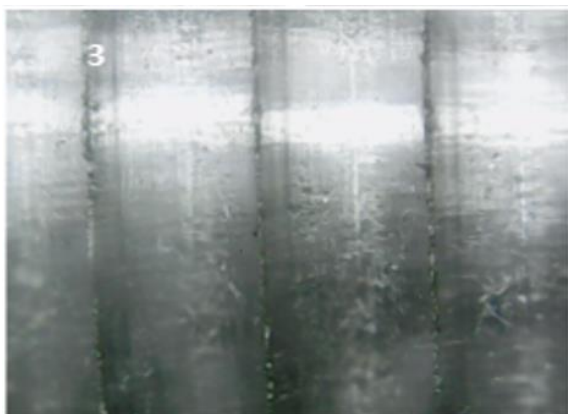
sehingga menimbulkan lubang [12]. Selain itu juga disebabkan oleh sifat dasar magnesium yang banyak *porosity*, sehingga *porosity* atau lubang muncul di permukaan benda kerja yang telah dipengaruhi proses permesinan.



(a)



(b)



(c)

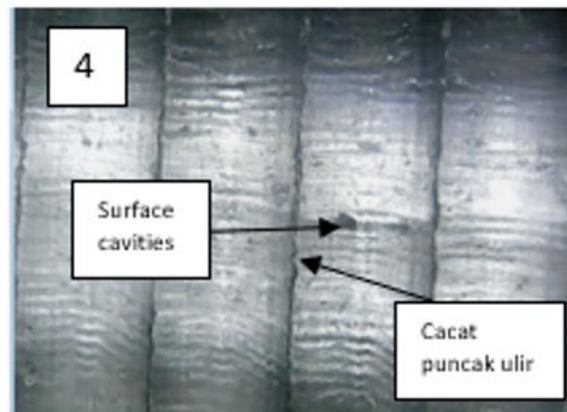
Gambar 6. Bentuk profil permukaan ulir magnesium paduan AZ31 pada kedalaman potong 0,324761 mm (a) kecepatan spindel 212 rpm, (b) kecepatan spindel 318 rpm dan (c) kecepatan spindel 424 rpm.

Pada kecepatan putaran spindel 212 rpm, pada permukaan benda kerja menunjukkan nilai kekasaran permukaan yang besar dan adanya *feed mark* walaupun tidak terlalu kasar. Sedangkan pada

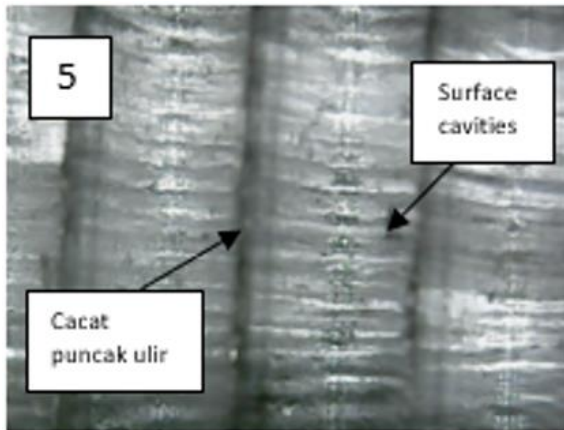
kecepatan putaran spindel 318 rpm permukaan benda kerja tampak lebih halus dibandingkan kecepatan spindel 212 rpm. Pada kecepatan spindel 424 rpm *feed mark* hampir tidak terlihat dan permukaan benda kerja sangat halus. Selain kekasaran permukaan dan *feed mark* bentuk cacat pada permukaan lain juga dapat dilihat pada setiap benda kerja yaitu *surface cavities* yaitu lubang kecil atau pori dari permukaan benda kerja akibat cacat pengecoran.

Jenis cacat yang lain yang dapat dilihat pada Gambar 6 adalah adanya cacat pada puncak ulir. Cacat pada puncak ulir terlihat seperti cacat *koyakan* pada permukaan bubut datar (*tearing surface*). Hal ini kemungkinan terjadi akibat ketidakseimbangan antara pahat dan benda kerja, sebagaimana yang juga dinyatakan oleh Visvanathan, et.al. [13] bahwa dikatakan ketidakseimbangan antara pahat dan benda kerja mengakibatkan getaran yang disebabkan oleh beban dinamik dari kondisi pemotongan. Ketidakseimbangan tersebut semakin meningkat bila kecepatan putaran semakin ditingkatkan.

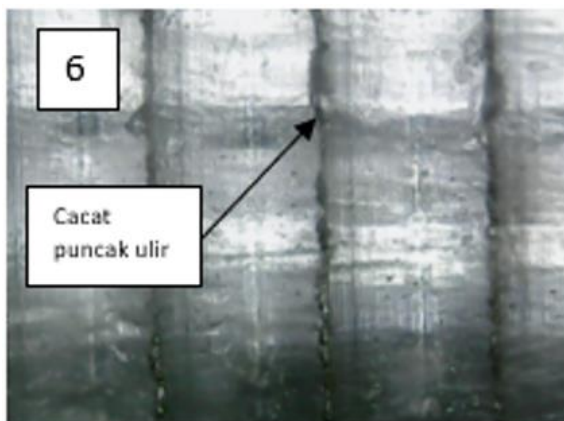
Pada saat kedalaman potong dinaikkan menjadi 0,433015 mm, bentuk profil menjadi lebih kasar sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 7. Pada kecepatan spindel 212 rpm terlihat bentuk profil permukaan lebih kasar, kekasaran karena kesan *feed* yang rapat. Sedangkan pada kecepatan spindel 318 rpm, permukaan benda kerja masih terlihat kasar, akan tetapi pola kekasaran terlihat lebih renggang dibandingkan pada kecepatan spindel 212 rpm. Demikian juga pada kecepatan spindel 424 rpm bentuk profil permukaan terlihat lebih halus dibanding kecepatan spindel 212 rpm dan 318 rpm.



(a)



(b)



(c)

Gambar 7. Bentuk profil permukaan ulir magnesium paduan AZ31 pada kedalaman potong 0,433015 mm (a) kecepatan spindle 212 rpm, (b) kecepatan spindle 318 rpm dan (c) kecepatan spindle 424 rpm.

Jenis kerusakan permukaan berlubang (*Surface cavities*) ditunjukkan pada Gambar 7(a) dan 7(b), sedangkan cacat puncak ulir juga nampak jelas pada setiap kecepatan, terutama pada Gambar 7(c) dimana cacat puncak ulir terlihat paling jelas, hal ini disebabkan pada kedalaman potong yang sama dan kecepatan spindle yang dinaikkan, maka getaran akibat beban dinamik akan semakin membesar. Pada kedalaman 0,649523 mm dan kecepatan potong yang divariasikan, bentuk profil permukaan terlihat lebih kasar dibandingkan kedalaman potong 0,433015 dan 0,324761 mm. Pada Gambar 7 demikian bahwa semakin tinggi kecepatan spindle maka semakin rendah kekasaran yang dihasilkan, meskipun begitu pada kedalaman potong 0,649523 mm ini terlihat *feed mark* dan permukaan benda kerja yang begitu kasar dibandingkan pada kedalaman potong 0,433015 dan 0,324761 mm.

4. Kesimpulan

Dalam kajian ini dapat disimpulkan bahwa nilai kesalahan tinggi puncak ulir berkurang dengan peningkatan kecepatan putaran spindle benda kerja, di mana nilai kesalahan terkecil adalah sebesar 0,018188 mm, yang diperoleh pada parameter kecepatan

spindel 424 rpm dan kedalaman potong 0,433015 mm. Nilai kesalahan sudut minimum yaitu 0,603 didapatkan pada parameter kecepatan spindle 212 rpm dan kedalaman potong 0,324761 mm, semakin tinggi nilai kecepatan spindle maka semakin besar nilai kesalahan sudut ulir. Peningkatan kecepatan putaran spindle secara signifikan memperbesar kesalahan jarak puncak ulir, di mana nilai kesalahan terbesar mencapai 12,9% yang terjadi pada kecepatan putaran spindle 318 rpm. Bentuk profil permukaan ulir terbaik yaitu dengan sedikit permukaan berlubang, *chattering mark* dan *feed mark* didapatkan pada parameter kecepatan spindle 424 rpm dan kedalaman potong 0,324761 mm, semakin tinggi nilai kecepatan spindle maka semakin kasar bentuk profil permukaan ulir.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Universitas Lampung yang telah memfasilitasi terlaksananya kajian ini. Ucapan terima juga disampaikan kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah memberikan *support* secara finansial untuk kelancaran kegiatan ini.

Daftar Pustaka

- [1] Saputra, R. 2017, Kekasaran Permukaan Magnesium AZ31 Yang Difrais Menggunakan Teknik Pelumasan Berkuantitas Minimum (MQL), Jurusan Teknik Mesin. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- [2] Henderson, S.E., Konstantinos, V., Spandan, M., Siladitya, P., Da-Tren, C., Prashant, N., Kumta, dan., 2014, Magnesium Alloys as a Biomaterial for Degradable Craniofacial Screws. Acta Materialia Inc : Pittsburgh
- [3] Ibrahim, G.A. 2014. Analisa Kekasaran Permukaan pada Pemesinan Paduan Magnesium. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- [4] Ibrahim, G.A., Burhanuddin, Y., Emrijakto, D. 2019, Analisis kepresisian lobang bor pada pemesinan AZ31 menggunakan Metode Taguchi, Flywheel: Jurnal Teknik Mesin Universitas Tirtayasa, Vol. 5, No. 1, Hal. 29-33.
- [5] Liwei Lu, Shaohua Hu, Longfei Liu, Zhenru Yin., 2016, High speed cutting of AZ31 magnesium alloy. Elsevier B.V. on behalf of Chongqing University, Hunan.
- [6] Akhyar, G., Ournomo, B., Hamni, A., Burhanuddin, Y. 2018, The machined surface of magnesium AZ31 after rotary turning at air cooling condition, IOP conf series: Material Science and Engineering 344.
- [7] Ibrahim, G.A., Suseno, A., Hamni, A. 2019, Pengaruh parameter pemotongan pada proses bubut ulir terhadap kepresisian geometri ulir magnesium paduan AZ31, Jurnal Energi dan Manufaktur, Vol. 12, No. 1, Hal., 1-6.

- [8] Agung, M., 2016, Pengaruh Kecepatan Potong Terhadap Kepresisian Geometri Ulir standar ISO Metrik dengan Menggunakan Baja S45C pada Mesin CNC ET242, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Malang.
- [9] Hamdan, Siti H., Said, A.Y., Biki, R., 2015, Surface Finishing when Threading Titanium-Based Alloy Under Dry Machining, *Journal of Machining Engineering and Sciences* Vol. 2, pp. 1062-1069
- [10] Bai, J., Yin, L., Lu, Y., Gan, F. Xue, C., Chu, J., Yan, K., Yan, X., Wan, Z., Tang, 2014, Preparation, microstructure and degradation performance of biomedical magnesium alloy fine wire, *Natural Science: Material International* 24.
- [11] Kalpakjian, S., 2001. *Manufacturing Process for Engineering and Technology*. 3th Edition, Addison Wesley Publishing Company.
- [12] Viswanathan, R dan Ramesh, S. 2014. Optimization of Machining Parameters for Magnesium Alloy using Taguchi Approach and RSM. Dept. International Conferences on Advances in Design and Manufacturing.