



## **ANALISIS KEPRESISISAN LOBANG BOR PADA PEMESINAN MAGNESIUM AZ31 MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI**

**Gusri Akhyar Ibrahim<sup>1\*</sup>, Yanuar Burhanuddin<sup>2</sup>, Didiek Embrijakto<sup>3</sup>**

<sup>1 2 3</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung<sup>1,2,3</sup>  
Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro no 1, Bandar Lampung

\*[gusri.akhyar@eng.unila.ac.id](mailto:gusri.akhyar@eng.unila.ac.id)

### **INFORMASI ARTIKEL**

Naskah Diterima 11/03/2019  
Naskah Direvisi 28/03/2019  
Naskah Disetujui 29/03/2019  
Naskah Online 29/03/2019

### **ABSTRAK**

Magnesium merupakan salah satu material ringan yang sangat penting terutama di bidang otomotif, dan biomedik. Aplikasi material magnesium dan paduannya di bidang material biomedik didasarkan pada sifat magnesium yang sangat mirip dengan sifat tulang manusia dan memiliki *biocompatibility* yang baik serta luluh di dalam tubuh. Aplikasi material magnesium juga banyak dikembangkan dengan cara ditanam (implan). Material paduan magnesium memiliki beberapa kelebihan secara kimia dan fisika, namun dalam proses pemesinan paduan magnesium dikenal sebagai material jenis logam yang mudah terbakar, terutama pada saat proses pemesinan dengan kecepatan tinggi. Dalam penelitian ini, sudut mata pahat (point angle), pelumas dan parameter pengeboran dianalisa untuk mengetahui pengaruhnya terhadap nilai kekasaran permukaan, kebulatan dan ketegaklurusan. Pada penelitian ini disain yang digunakan adalah Metode Taguchi L18 yang terdiri dari 3 faktor 3 level dan 1 faktor 2 level. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekasaran permukaan dipengaruhi oleh adanya kontribusi dari sudut mata pahat 18,9% dan pelumasan 14,5%. Dimana sudut mata pahat adalah 65° dengan pelumasan minyak sintesis. Kebulatan dipengaruhi oleh sudut mata pahat 45° dari proses pengeboran, terutama jika terjadi interaksi pada kadar pemakanan 0,2 mm/rev dan pelumasan sintesis. Keakuratan sisi potong/cutting edge berakibat pada gaya tangensial sehingga berpengaruh pada kestabilan putaran dan kebulatan hasil pengeboran. Nilai ketegaklurusan magnesium AZ31 dalam proses pengeboran sangat dipengaruhi pula oleh parameter pemotongan kadar pemakanan yang menghasilkan signifikansi  $P = 0,044$ , sedangkan nilai signifikansi yang paling tinggi adalah interaksi antara kadar pemakanan 0,1 mm/rev dengan pelumasan sintesis pada  $P = 0,041$ .

Kata kunci : Pengeboran, magnesium AZ31, kekasaran, silendris, tegak lurus, Taguchi

### **1. PENDAHULUAN**

Proses pengeboran merupakan salah satu dari beberapa proses pemotongan logam yang penting dan banyak digunakan, sehingga dalam perkembangannya banyak penelitian melakukan kajian. Pada kenyataannya proses pengeboran tidak dianggap sebagai sebuah faktor yang sangat penting untuk mempengaruhi kualitas bagian-bagian mesin dengan sifat mampu mesin yang lebih baik seperti pada paduan magnesium (Chong and Shih, 2002). Banyak peneliti telah menyelidiki pengaruh parameter geometris pada mata bor untuk kualitas bagian-bagian

mesin. Chen et al. (1996) menggunakan sebuah *split point drill* untuk mengembangkan suatu *splitting parameter* dari penggabungan model gaya/kekuatan untuk proses pengeboran. Upaya mengoptimalkan geometri *drill point* adalah dengan cara meminimalisir *thrust force* menjadi torsi selama pengeboran. Chen dan Tsao (1999) menunjukkan bahwa penggunaan mata bor dengan berbagai *coating/lapisan* yang berbeda menghasilkan keawetan mata bor dan kualitas lubang bor lebih baik, sehingga dapat teramati bahwa jenis material lapisan berpengaruh terhadap daya tahan mata bor dan kualitas lubang bor.

Haan et al. (1997) menyelidiki pengaruh dari geometri yang berbeda terhadap kualitas hasil pengeboran. Pengukuran torsi yang dihasilkan dari kondisi pengeboran yang bervariasi: kecepatan potong/*cutting speed*, *kadar pemakanan* pada proses *on/off* dan pelumas potong /*cutting fluid*. Mereka menyimpulkan pelumas potong atau *cutting fluid* adalah faktor yang berpengaruh signifikan dalam memproduksi profil lubang pengeboran. Selain itu efisiensi pelumas potong/*cutting fluid* terpengaruh juga dengan pembentukan BUE (*built-up-edge*). Untuk menurunkan panas yang ditimbulkan akibat gesekan pada proses pemotongan (Wiryacosol dan Armorego,1979) menggunakan *tractable* logam dan dikembangkan dengan ekspresi empiris untuk memprakirakan torsi dan kekuatan dorong/*thrust force* selama proses pengeboran. Dinyata bahwa peningkatan *sudut mata pahat* dari pengeboran menurunkan torsi tetapi meningkatkan *thrust force*. Pernyataan tersebut menunjukkan bahwa faktor-faktor geometris dari mata bor dan parameter proses pemotongan sangat berpengaruh pada kinerja proses pengeboran.

Paduan magnesium dijadikan sebagai bahan yang banyak digunakan di bidang biomedik karena bahan ini memiliki sifat sangat ringan. (Biermann and Liu, 2014). Aplikasi material magnesium dan paduannya di bidang material biomedik didasarkan pada sifat magnesium yang sangat mirip dengan sifat tulang manusia dan memiliki *biocompatibility* yang baik serta luluh di dalam tubuh. Aplikasi material magnesium juga banyak dikembangkan dengan cara ditanam atau implan (Hofmann, 2009). Beberapa komponen biomedik atau yang ditanamkan dalam tubuh manusia yang mengalami patah tulang adalah baut tulang, pelat penjepit patah tulang, dan *screw* penyambung. Magnesium mempunyai beberapa kelebihan, diantaranya memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi dan mampu mesin yang baik. Meskipun material paduan magnesium memiliki beberapa kelebihan dalam sifat kimia dan fisiknya, namun dalam proses pemesinan paduan magnesium dikenal sebagai material jenis logam yang mudah terbakar, terutama pada saat proses pemesinan dengan kecepatan tinggi (Spicer et.al,2014; Ibrahim,2014). Pengoptimalan kondisi proses pemesinan adalah perlu untuk menjaga tidak terbakarnya tatal (*chip*).

Bagaimanapun, proses pengeboran seringkali digunakan untuk membuat bagian-bagian mesin yang berdimensi lubang dengan kedalaman tertentu. Sejauh ini, banyak para peneliti melakukan penelitian dalam rangka mencegah nyala dari tatal magnesium. Salah satu rekomendasi tentang penggunaan *sudut mata pahat* dengan sudut  $70^{\circ}$  –  $118^{\circ}$  mata bor adalah sesuai untuk pengeboran magnesium dan paduan magnesium. Kajian ini menyelidiki tidak hanya parameter proses, seperti kecepatan potong, *kadar pemakanan* dan *sudut mata pahat* dari mata bor yang berkontribusi terhadap kualitas lubang bor, tetapi juga dinamika dari proses

pengeboran pada mikrostruktur AZ61 (Chong and Shih, 2002).

Penelitian menggunakan Metode Taguchi dengan susunan *Orthogonal Array* L18 dipilih berdasarkan kepada pemilihan faktor dan level pada masing-masing parameter. Masukan yang diambil sebagai parameter pengeboran adalah putaran *spindle* (n), *kadar pemakanan* (f), *sudut mata pahat* dan pelumas/lubrikan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menghasilkan kinerja proses pemesinan bor magnesium dengan kombinasi parameter terbaik, sehingga menghasilkan kualitas lobang bor yang baik. Analisa dilakukan menggunakan analisa varian secara perhitungan statistik untuk mendapatkan parameter pengeboran yang berpengaruh secara signifikan dan menentukan besaran kontribusi masing-masing terhadap kualitas lobang bor.

## 2. METODE PENELITIAN

Sebuah jenis mesin Vertical Machining Center, VMC650L digunakan dalam penelitian ini untuk membuat lobang bor dengan tingkat presisi yang tinggi. Material paduan magnesium yang digunakan adalah logam yang ringan dengan massa jenis sebesar  $1,74 \text{ g/cm}^3$ . Jelas logam ini memiliki sifat 1,6 kali lebih ringan dibandingkan dengan Al dan 4,5 kali lebih ringan dibandingkan dengan baja. Ketangguhan patahnya lebih besar dari biomaterial keramik dan modulus elastisitasnya adalah 45 GPa yang mendekati modulus elastis tulang manusia sebesar 40 GPa (Witte, 2008). Paduan magnesium-aluminium telah banyak digunakan sebagai biomaterial, antara lain AZ31 (Mg-3Al-1Zn), yang mengandung Zn sebagai unsur tambahan (Kirkland, 2010). Material uji diklem dimesin VMC dan dimasukkan dengan ukuran  $40 \times 50 \times 100 \text{ mm}$ . Pertama dilubang dengan bor diameter 5 mm dan kedalaman 40 mm untuk mengawali lubang dengan putaran 405 putaran/menit dan *kadar pemakanan* 0,1 mm/rev, diameter mata bor 12 mm. Dengan menggunakan kombinasi 1 (satu) parameter dengan 2 level dan 3 (tiga) parameter dengan 3 level, sehingga kombinasi susunan ortogon Metode Taguchi yang direkomendasi adalah 18 kali percobaan.

Nilai kekasaran permukaan setiap lubang diukur menggunakan menggunakan alat uji kekasaran permukaan (surface roughness tester) sedangkan kesilendrisan dan ketegaklurusan lobang diukur menggunakan mesin *Coordinate Measuring Machine* (CMM). Dengan demikian tingkat kebulatan dan ketegaklurusan setiap lubang dapat ditentukan dengan ketelitian yang dapat diuji kevalidannya. Untuk mendapatkan kepresisian lobang sangat diperlukan tingkat kekasaran permukaan yang rendah, karena itu menpresentasi kepresisiannya.

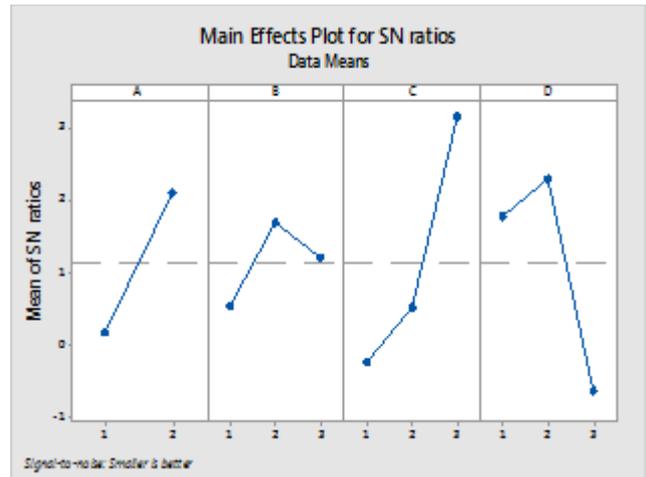
## 3. HASIL DAN DISKUSI

### 3.1. Nilai Kekasaran Permukaan (Ra)

Secara umum, nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan berada pada rentang  $0,33 \mu\text{m}$  sampai dengan  $1,99 \mu\text{m}$ . Nilai kekasaran permukaan tertinggi  $1,99 \mu\text{m}$ .

diperoleh pada parameter pemotongan; kecepatan putaran 405 rpm, kadar pemakanan 0,1 mm/rev, sudut mata pahat 45° dan pelumas minyak sintetis. Sedangkan nilai kekasaran permukaan terendah diperoleh pada 0,33 µm dimana diperoleh pada kecepatan putaran 890 rpm, kadar pemakanan 0,2 mm/rev, sudut mata pahat 65° dan pelumas minyak sintetis. Secara prinsip nilai kekasaran permukaan benda kerja yang dimesin tidak seragam disepanjang proses permesinannya karena dipengaruhi oleh keadaan pemotongan seperti, kecepatan pemotongan, kadar pemakanan dan jenis pahat pemotong.

Gambar 1 menunjukan grafik nilai rata-rata kwadrat masing-masing S/N rasio parameter pemesinan, dimana sudut mata pahat mempunyai pengaruh paling besar dibandingkan dengan parameter lainnya terhadap nilai kekasaran permukaan benda kerja yang dimesin. Hal itu juga dapat diamati pada kecuraman garis yang dibentuk antara nilai terbesar dan nilai terkecilnya. Kemudian parameter yang juga memberikan pengaruh besar adalah jenis pelumas, kecepatan putaran dan kadar pemakanan. Nilai kekasaran tidak hanya dipengaruhi oleh faktor gerak makan dan kecepatan potong akan tetapi nilai kekasaran juga dipengaruhi oleh faktor *nose radius* pahat (Ibrahim, 2014). Dikatakan bahwa nilai kekasaran adalah fungsi dari parameter pemotongan yang diatur melalui perangkat mesin. Akan tetapi keadaan ujung mata pahat atau geometri mata pahat ikut berkontribusi pada nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan. *Nose radius* atau jari-jari ujung mata pahat berkontribusi dalam pembentukan nilai kekasaran permukaan, dimana geometri mata pahat dapat berubah akibat dari aus yang terjadi pada pahat potong. Berdasarkan rumus  $Ra = f / Re$ , maka makin besar *nose radius* kekasaran akan berkurang. Namun permukaan kasar terjadi karena kontur keausan tepi yang tidak rata atau halus. Secara mekanis terdapat parameter yang dapat mempengaruhi Ra yaitu *kadar pemakanan* (f) dan *nose radius* (Re). Bilamana nilai f meningkat dan Re turun akan terjadi peningkatan nilai kekasaran permukaan (Ra). Hal ini terkait dengan perubahan masing-masing parameter diantaranya kecepatan putaran, kecepatan makan, sudut pahat dan penggunaan pelumas.

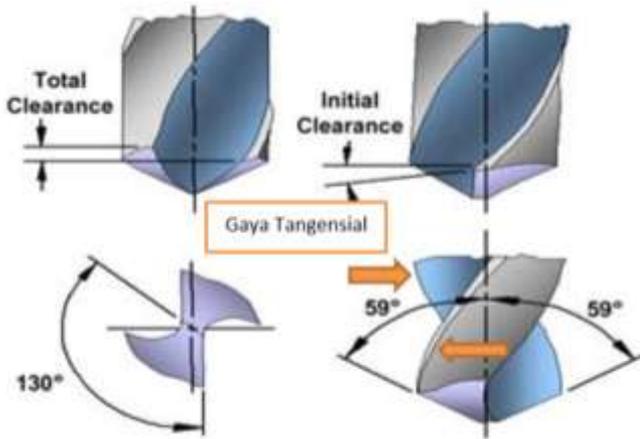


Gambar 1. Grafik plot SNR untuk faktor utama pada nilai kekasaran permukaan (Ra) magnesium AZ31

### 3.2. Nilai Kebulatan (Roundness)

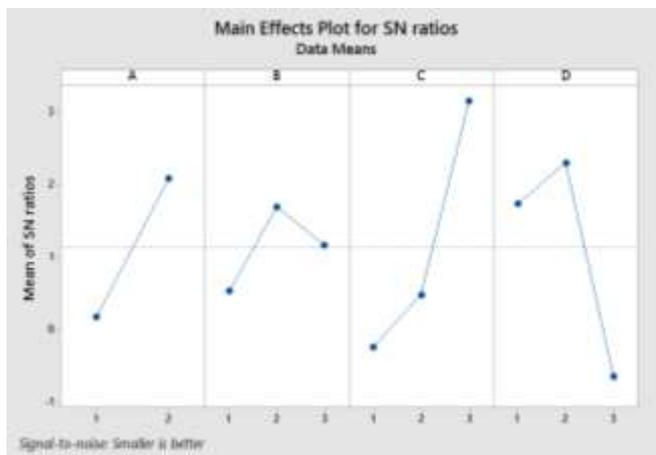
Nilai kebulatan lubang yang dihasilkan berada pada rentang 0,017 mm sampai dengan 1.122 mm. Nilai kebulatan tertinggi yang didapatkan adalah sebesar 0.017 mm dimana diperoleh pada keadaan pengeboran dengan kecepatan putaran sebesar 405 rpm, kadar pemakanan 0,3 mm/rev dan sudut mata pahat 45° serta jenis pelumas minyak sawit. Sedangkan nilai kebulatan terendah diperoleh pada 1.122 mm, yang diperoleh pada kondisi pemesinan bor dengan kecepatan putaran 405 rpm, kadar pemakanan 0,3 mm/rev, sudut mata pahat 55° dan jenis pelumas minyak kedelai.

Salah satu unsur perubahan nilai kebulatan akan terjadi jika panjang *cutting edge* kiri dan kanan tidak sama. Hal ini dapat terjadi apabila sebagian mata pahat telah mengalami keausan sehingga pahat tidak lagi seimbang dalam memotong benda kerja (Kalpakjian and Schmid, 2006). Karena diakibatkan oleh geometri ujung mata pahat yang tidak seragam, maka gaya potong yang terjadi tidak seimbang, sehingga hal ini semakin memperburuk keausan mata pahat. Nilai kebulatan terendah diperoleh pada proses sampel uji no 8, dimana nilai kebulatannya sebesar 1.122 mm pada kondisi pemesinan bor kecepatan putaran (n) sebesar 405 rpm, *kadar pemakanan* 0,3 mm/rev, sudut mata pahat 55° dan jenis pelumas adalah minyak kedelai. Hasil pengukuran mata bor untuk keadaan pemotongan sampel no 8 adalah bahwa pada salah satu ujung potong mata pahada sebesar 12,95 mm dan satu sisi yang lain 13,25. Hasil pengukuran ini ada selisih panjang sehingga pada saat pahat berputar dan memotong akan menyebabkan gaya tangensial yang tidak berimbang. Keadaan ini menyebabkan putaran pahat tidak kosentri atau putaran pahat menjadi berbentuk oval. Kondisi ini menyebabkan resultansi gaya potong mengakibatkan pahat akan cenderung mendesak dinding lubang searah dengan gaya potong yang lebih besar (Koenisberger, 1964).



Gambar 2. Gaya Tangensial pada mata bor

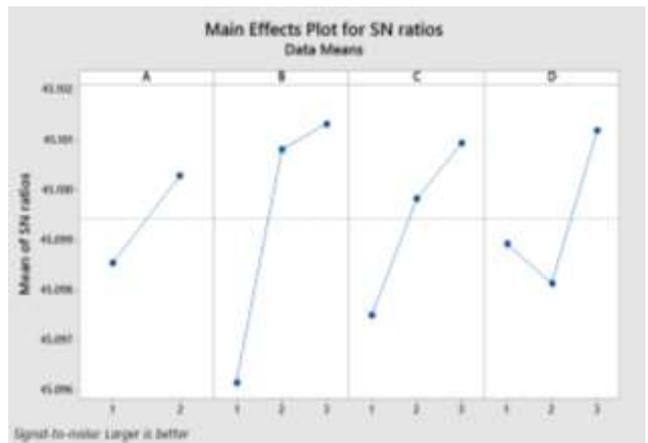
Gambar 3 menunjukan grafik nilai rata-rata kwadrat masing-masing S/N rasio parameter pemesinan, dimana sudut mata pahat mempunyai pengaruh paling besar dibandingkan dengan parameter lainnya terhadap nilai kebulatan lobang bor pada benda kerja yang dimesin. Hal itu juga dapat diamati pada kecuraman garis yang dibentuk antara nilai terbesar dan nilai terkecilnya. Kemudian parameter yang juga memberikan pengaruh besar adalah jenis pelumas, kecepatan putaran dan kadar pemakanan. Dikatakan bahwa nilai kebulatan lobang menjadi salah satu indikator atas kepresisian lobang yang dibuat. Kebulatan lobang hasil pengeboran magnesium juga ditentukan oleh keadaan ujung mata pahat atau geometri mata pahat. Bila mata pahat telah mengalami kerusakan (aus) maka pada bagian yang aus akan memotong benda kerja tidak secara sempurna (Ibrahim et.al., 2014). Sama hal dengan nilai kekasaran permukaan, bahwa kebulatan juga merupakan representatif dari keadaan permukaan. Jika nilai kekasaran permukaan tidak seragam disepanjang permukaan lobang, maka kebulatan lobang menjadi tidak sama



Gambar 3. Grafik Plot Rasio SNR untuk faktor utama kebulatan

### 3.3. Nilai Ketegaklurusan (perpendicular)

Nilai ketegaklurusan pada penelitian ini menghasilkan penyimpangan terkecil yaitu pada kecepatan putaran 890 rpm (A2), kadar pemakanan 0,2 mm/rev (B2), sudut mata pahat 55° (C2) dan jenis pelumas menggunakan minyak kedelai (D3). Sedangkan angka penyimpangan terjauh didapatkan pada kecepatan putaran 405 rpm (A1), kadar pemakanan 0,10 mm/rev (B1), sudut mata pahat 55° (C2) dan jenis pelumas menggunakan minyak kelapa sawit (D2). Setelah dilakukan analisa statistik model anova SN rasio maka ditemukan bahwa parameter yang signifikan terhadap variable respon ketegaklurusan mengacu kepada nilai P-valuenya <  $\alpha$  (0,05). Dalam hal ini kadar pemakanan merupakan faktor yang paling berpengaruh signifikan, dimana nilai P = 0,044, dan interaksi antara faktor B dan faktor D (kadar pemakanan dan jenis pelumas) dimana nilai P = 0,041. Secara tiori dinyatakan bahwa untuk penelitian dibidang proses pemesinan maka nilai signifikan yang lebih kecil dari  $\alpha$  (0,05) menunjukkan kesignifikansian yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa kadar pemakanan 0,1 mm/rev pada proses pemesinan bor magnesium AZ31 menggunakan twist drill diameter 12 mm berpengaruh signifikan terhadap nilai ketegaklurusan lobang. Pada kajian ini, pengaruh signifikan terjadi pada faktor interaksi antara kadar pemakanan 0,1 mm/rev dan jenis pelumas sintesis. Viskositas dari bahan pelumas dapat berpengaruh terhadap kecepatan pengisian cairan daerah kontak antara pahat potong dan benda kerja dan ketebalan cairan tipis diantaranya (Paar, 2018). Sehingga dengan adanya kadar pemakanan 0,1 mm/rev (paling kecil) dengan lubrikan sintesis dengan viskositas yang tinggi menyebabkan lebih stabilnya pemotongan dinding lubang yang berakibat pada nilai ketegaklurusan yang lebih baik.



Gambar 4. Grafik Plot Rasio SNR untuk Faktor Utama Ketegaklurusan

Gambar 4 menunjukan grafik untuk masing-masing faktor dengan nilai ketegaklurusan untuk setiap level parameter. Dapat dilihat bahwa faktor kadar pemakanan (Delta 0,01, Rank = 1) mempunyai pengaruh paling besar terhadap nilai ketegaklurusan yang ditunjukkan dengan nilai SN Rasio, diikuti oleh sudut mata pahat (Delta 0,00, Rank = 2). Jika digunakan kadar pemakanan

level 1, jenis pelumas 1, dikaitkan dengan kekuatan rata-rata tertinggi / *highest mean strength*, maka hasil anova dua arah menunjukkan bahwa interaksi antara kadar pemakanan dan pelumas adalah signifikan.

#### 4. KESIMPULAN

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekasaran permukaan dipengaruhi beberapa faktor dengan kontribusi dari sudut pahat 18,9% dan jenis pelumasan 14,5%. Sudut mata pahat yang digunakan adalah 65° dengan jenis pelumasan minyak sintesis, selanjutnya adanya kecenderungan jari-jari hujung mata pahat mengakibatkan naiknya tingkat kekasaran permukaan.
2. Geometri bebulatan lobang bor sangat dipengaruhi oleh sudut pahat (45°) pada saat proses pengeboran. Hal ini semakin tampak pada interaksi faktor kadar pemakanan (0,2 mm/rev) dan jenis pelumasan sintesis. Keakuratan sisi potong/*cutting edge* berakibat pada gaya tangensial sehingga berpengaruh pada kestabilan putaran dan kebulatan hasil pengeboran.
3. Nilai ketegaklurusan magnesium AZ31 dalam proses pengeboran sangat dipengaruhi pula oleh parameter pemotongan kadar pemakanan yang menghasilkan signifikansi  $P = 0,044$  , sedangkan signifikansi terkuat terjadi jika ada interaksi antara kadar pemakanan 0,1 mm/rev dengan jenis pelumasan sintesis sebesar  $P = 0,041$ . Semakin kecil dengan pelumasan sintesis menyebabkan keadaan stabil proses pemotongan sehingga menghasilkan nilai ketegaklurusan yang baik.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima ditujukan kepada Direktur Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Riset dan Teknologi yang telah membiayai pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Lembaga

Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Lampung yang telah memfasilitasi kegiatan hingga selesai.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

- Anton, 2018, Viscosity of metal Working Fluids in Cutting Processes, SVM™ Series , Anton-Paar GMBH
- Biermann, D, Liu, Y, 2014. Innovation Flow Drilling on Manufacture of light weight Components. El Sevier Academic Process Series . Procedia CIRP 18, pp. 209 – 214
- Chen and Fuh, 1996, J.Mater. Process Technology, 58.314-322
- Chen and Tsao, 1999, J.Mater.Process Technology, 88.203-207
- Haan and Batzer, 1997, J. Mater. Process Technology, 71, 305-313
- Hofmann, D. 2009, Knowledge-Based Approach toward Hydrolytic Degradation of Polymer-Based Biomaterial. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.KGAA, Weinheim.
- Ibrahim, G.A. 2014, Analisa Kekasaran Permukaan pada Pemesian Paduan Magnesium. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Lampung. Bandar Lampung
- Ibrahim, G.A. 2010, Pengaruh Pemesian Kering Terhadap Kekasaran dan Kekerasan Permukaan Paduan Titanium, Jurnal Mechanical Teknik Mesin Universitas Lampung.
- Kirkland, N.T., Lespagnol, J., Birbilis, N., Staiger, M. P. 2010, A Survey of Bio-Corrosion Rates of Magnesium Alloys. Corrosion Science :10;52, pp. 287-291.
- Koenisberger, 1964, Design Principles of Metal Cutting Machine tools, Pergamon Press, Oxford.
- Spicer, 2014, Tool Wear Monitoring for Ultrasonic Metal Welding of Lithium-Ion batteries, Manufacturing Research Laboratory, Michigan
- Kwo Zong Chong and Teng Shih Shih, 2002, Optimizing Drilling Condition for AZ61A Magnesium Alloy. Material Transaction, Vol.43, No.8. pp 2148 to 2156. The Japan Institute of metals
- Wiriyacosol and Armarego, 1979, Ann. CIRP. 28.87-91
- Witte F, Hort N, Vogt C, Cohen S, Kainer KU, Willumeit R.J. 2008, Degradable Biomaterials Based on Magnesium Corrosion, Current Opinion Solid State Materials Science 12, pp. 63-72.