

PROSES DEEP ETCHING MATERIAL KUNINGAN

Tri Widodo Besar Riyadi¹⁾, Sigit Asmoro²⁾, Nurmuntaha Agung Nugraha³⁾

^{1,2,3} Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Email: Tri.Riyadi@ums.ac.id

Abstract

Deep etching has been developed as one of the micromachining techniques used to fabricate small appliances such as robotic components for medical applications. An electric energy is sometimes used to accelerate the etching process. The objective of this work was to study the effect of electrical current on the material removal rate and wall profiles in the deep etching process of brass. The etching solution was composed of ferric chloride and aquadest, whereas the variations of electrical current for the etching were 0.09 A, 0.12 A, 0.15 A, 0.30 A, and 0.35 A. The result showed that the increase of the electrical current increased the etched mass. The increase of the material removal rate obtained from the experiment was close to that obtained from the theoretical calculation. The experimental result showed more detailed information of the etched wall profile, where an increase in the electrical current increased the surface depth, and the side wall tent to form a curve shaped with the same radii.

Keywords: Deep etching, Brass, Electrical currents, Material removal rates, Wall profiles

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan perangkat dengan ukuran sangat kecil telah mendorong perkembangan teknologi permesinan untuk menciptakan teknik baru yang sesuai dengan kebutuhan untuk membuat produk dengan komponen-komponen sekecil mungkin. Proses permesinan konvensional yang menggunakan mesin bubut atau mesin frais tidak mampu menangani hal tersebut karena keterbatasan ukuran pahatnya. Pembuatan komponen-komponen kecil tersebut kemudian dibuat dengan proses permesinan mikro atau dikenal dengan istilah *micro-machining*. Salah satu jenis teknik yang digunakan untuk proses mikro machining adalah teknik *deep etching* atau teknik pengetsan dalam. Proses pengerjaan permesinan teknik ini dilakukan berdasarkan pada prinsip pengikisan material secara elektro kimia, karena melibatkan penggunaan larutan kimia (*wet etching*) maupun plasma (*dry etching*).

Hasil studi pustaka tentang proses *deep etching* secara umum mengungkapkan beberapa masalah yang masih dihadapi peneliti antara lain adalah bagaimana untuk mempersiapkan lapisan penutup pada permukaan pelat atau material yang akan di-etsa (lapisan ini disebut dengan istilah *resist*),

bagaimana membuat alat untuk proses penempatan *resist* agar desain gambar yang diinginkan mempunyai pola dan ukuran yang akurat, dan bagaimana pengaruh parameter proses parameter *etching* anatara lain arus listrik, waktu celup dan komposisi larutan terhadap kualitas profil dinding dan laju pengikisan material (*material removal rate*). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh salah satu parameter proses *deep etching* yaitu arus listrik terhadap laju pengikisan material dan profil dinding pada proses *deep etching* bahan kuningan. Bahan ini merupakan paduan tembaga dan seng dengan kadar 60-90 wt.% Cu. Kuningan cukup mudah diperoleh di pasaran, mempunyai kekerasan yang cukup baik, dan merupakan konduktor listrik yang baik serta tahan terhadap lingkungan korosif air garam. Dengan kelebihan sifat tersebut maka tembaga menjadi kandidat kuat untuk aplikasi komponen robot.

2. KAJIAN LITERATUR

Deep etching adalah salah satu proses pengikisan logam dengan menggunakan larutan asam yang kuat (*strong acid*). Proses *etching* sudah cukup lama dikenal dan biasanya digunakan untuk membuat desain

tertentu pada permukaan logam perhiasan. Proses ini dilakukan dengan menutup permukaan logam dengan lapisan pelindung atau *resist* yang menempel pada logam yang akan di-etsa. Untuk membuat desain dengan pola tertentu maka lapisan resist perlu didesain sesuai dengan pola yang akan dibuat. Bagian yang tertutup resist tidak akan tergerus oleh larutan asam, sedangkan bagian yang tidak terlindung oleh lapisan resist akan tergerus atau terkikis oleh cairan asam atau *etching solutions*. Pada awal diperkenalkan pada abad pertengahan (tahun 1800-an) di benua Eropa, proses etching banyak digunakan untuk menghias permukaan logam seperti baju baja, meriam, dan pelat. Seiring dengan perkembangannya, beberapa logam digunakan dalam proses etsa seperti magnesium, baja, tembaga, dan aluminium. Cairan etsa yang digunakan juga bervariasi tergantung dengan logam yang akan diproses etching. Selanjutnya, proses etching mengalami perkembangan dan menjadi *deep etching* dengan tujuan untuk menghasilkan kontur produk 3 dimensi yang lebih dalam. Dengan teknik *deep etching* ini maka kemampuan untuk melakukan permesinan dan kontur yang rumit dapat ditingkatkan misalnya dengan tanpa tanda bekas permesinan, beram maupun tegangan permukaan.

Pada prinsipnya, proses *deep etching* dilakukan untuk memenuhi kebutuhan untuk mengikis permukaan lebih dalam. Dengan demikian maka pada proses *deep etching* berkembang dengan mengacu pada penggunaan asam dengan konsentrasi yang tinggi sehingga menghasilkan permukaan yang lebih kasar (*rough*) [1]. Pada proses *deep etching*, reaksi pengikisan logam pada dasarnya merupakan reaksi elektro kimia alami, dimana sumber energi untuk reaksi larutan datang dari larutan etsa atau dikenal dengan istilah *etchant* [2]. Hal ini berarti bahwa proses etching dapat dilakukan tanpa menggunakan sumber energi lain seperti dari energi listrik. Untuk melindungi bagian dari benda kerja yang akan dikikis maka digunakan lapisan penutup dari bahan tertentu yang disebut dengan *mask* atau

resist. Lapisan resist banyak menggunakan bahan sintetik atau karet karena mempunyai ketahanan erosi yang baik terhadap berbagai asam. Bahan yang dapat digunakan untuk membuat lapisan resist harus memenuhi beberapa kriteria seperti melekat dengan baik pada permukaan benda kerja, tidak ikut bereaksi saat pelarutan, mampu menahan panas yang timbul akibat reaksi kimia selama proses etching, mudah dibersihkan setelah proses etching selesai, dan tentu saja mempunyai harga yang terjangkau.

Tujuan pokok proses *deep etching* adalah untuk memperoleh permukaan akhir yang baik dilihat dari kekasaran permukaannya dan profil dindingnya. Pada perkembangannya, proses *deep etching* banyak menghadapi masalah misalnya larutan asamnya harus diatur untuk mengendalikan tingkatan komposisi kimia dan temperatur yang sesuai untuk proses pengikisan yang maksimal. Untuk mengatasi masalah-masalah tersebut maka beberapa proses tambahan pernah dilakukan dengan tujuan agar proses *deep etching* memperoleh hasil yang optimum. Ban Chao Lei dkk. [3] pada studinya melakukan *pre-treatment* kimiawi dengan tujuan untuk mengaktifkan permukaan aluminium foil guna memfasilitasi penyerapan, difusi serta migrasi dari ion Cl⁻ pada lembaran Aluminium foil ketika proses etsa. Selain itu juga meningkatkan tingkat inisiasi lubang meta-stabil dan kepadatan lubang stabil dan terowongan untuk meningkatkan luas permukaan Al foil yang terkikis. Studi lain dilakukan oleh Pakpum, C. dan Limsuwan, P [4] yang melaporkan bahwa kemampuan pengikisan bahan plasma SF₆ dan CF₄ dengan metode plasma etching dengan substrat AlTiC menggunakan lapisan *resist/mask* dari logam NiCr. Hasil eksperimen menyebutkan bahwa kemampuan pengikisan tertinggi pada bahan AlTiC dicapai dengan penggunaan CF₄ plasma pada komposisi (AlTiC(5.67): NiCr(1)) dan kecepatan pengikisan 64.77 nm/min. sehingga plasma CF₄ dipilih untuk mendapatkan kemampuan pengikisan yang lebih tinggi dan energi kinetik yang lebih

rendah. Studi lain juga dilakukan oleh Hu Guofeng dkk. [5] yang melaporkan bahwa pada proses *wet etching* pada plat AAO (*anodic aluminium oxide*) yang menggunakan beberapa jenis *etchant*, antara lain larutan H_3PO_4 , campuran asam fosfor, asam kromis, dan larutan NaOH. Hasil penelitian menyebutkan bahwa larutan H_3PO_4 merupakan *etchant* terbaik untuk proses *etching* pelat AAO dengan tingkat akurasi yang tinggi dibandingkan dengan 3M larutan NaOH. Di samping itu, pada proses *wet etching* tersebut mengindikasikan bahwa massa yang hilang pada pelat AAO berbanding linier terhadap waktu *etching*. Studi yang dilakukan oleh Lin W.G.C dkk. [6] menyatakan bahwa modifikasi pada kemampuan *etching* dengan menggunakan bahan Indium pada permukaan aluminium ternyata lebih kuat dari pada menggunakan bahan timah. Hal tersebut dimungkinkan karena terjadinya kondisi suhu yang lebih rendah dan encer pada larutan $In(NO_3)_3$ dengan proses pengurangan waktu peredaman sehingga dapat mengoptimalkan kemampuan *etching* (*etchability*).

3. METODE PENELITIAN

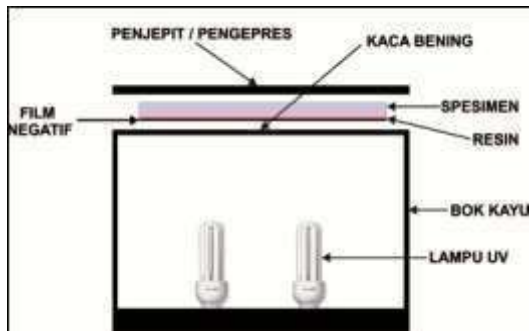
Langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan penelitian pengaruh arus terhadap laju pengikisan material dan profil dinding diawali dengan memotong lembaran plat kuningan dengan ketebalan 1,5 mm menjadi ukuran 2 cm x 3 cm. Selanjutnya, permukaan bahan yang akan di-etsa terlebih dahulu digerinda dengan menggunakan amplas dengan ukuran mesh 1000. Sementara itu bagian pelat yang tidak akan di-*etching* kemudian dicat dengan cat besi dengan tujuan untuk melindungi agar tidak ikut terlarut selama proses *etching*. Langkah pertama adalah membuat desain pola di computer dan dicetak pada sebuah film khusus. Selanjutnya adalah memindahkan desain dari film ke pelat dengan menggunakan lem khusus dengan merk Ulano TZ yang telah dituangkan pada pelat dan kemudian dikeringkan menggunakan *hair dryer*. Film yang telah menempel pada pelat kemudian diletakkan di dalam kotak

vakum yang terdapat lampu sinar uv di dalamnya. Pelat dengan bagian yang telah terlapisi film dan lem Ulano TZ menghadap pada kaca bok dan kemudian ditekan. Proses penyinaran pelat memerlukan waktu sekitar 10 menit agar lem kering. Setelah penyinaran selesai maka pelat tersebut dicuci dengan air sehingga bersih sampai terbentuk pola desain yang diinginkan. Skema untuk proses tersebut dapat dilihat pada Gambar 1. Langkah selanjutnya adalah menyiapkan kotak container untuk menampung larutan untuk keperluan proses *etching*. Larutan yang digunakan mempunyai komposisi ferric chloride ($FeCl_2$) dan *aquadest* dengan perbandingan 1 : 9. Skema peralatan untuk proses deep *etching* dapat dilihat pada gambar 2. Untuk mengalirkan energy listrik ke dalam larutan pada proses deep *etching* maka kabel positif dan negatif dari travo dihubungkan ke anoda dan katoda (pelat korban), dan disambungkan ke batere (atau sumber arus DC lain) dengan voltage tertentu, dalam hal ini digunakan 15 Volt.

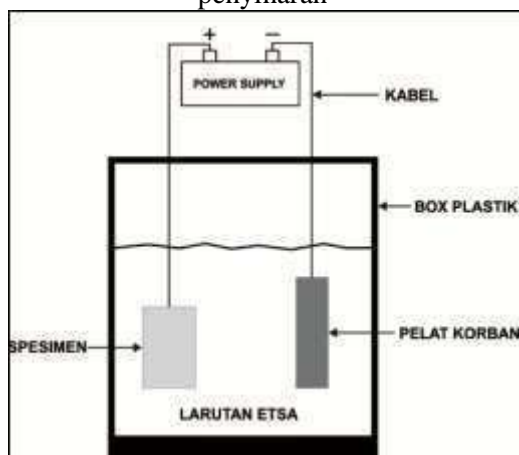
Proses deep *etching* dilakukan dengan mencelupkan pelat ke dalam larutan campuran ferric chloride dan *aquadest*, dimana permukaan yang akan dilarutkan menghadap ke atas. Proses pencelupan ini dilakukan selama waktu celup yang diinginkan, dalam penelitian ini digunakan sekitar 40 menit. Setelah selesai di-*etching* maka pelat kemudian dicuci dengan air bersih guna menghilangkan cairan kimia yang masih menempel pada pelat, dan dilanjutkan dengan pencucian menggunakan cairan jenis pengencer untuk menghilangkan cat dan bekas lem Ulano. Urutan proses *etching* tersebut kemudian diulangi dengan menggunakan pelat lain untuk keperluan meneliti pengaruh variasi arus listrik.

Kecepatan pengikisan dapat diketahui dengan cara mengurangi massa pelat sebelum pelarutan dengan massa pelat setelah pelarutan, dan hasilnya dibagi dengan waktu yang pencelupan sehingga dapat diketahui besar massa yang terkikis setiap menit. Penampang pelat yang telah di-*etching* selanjutnya dipotong untuk keperluan pengujian foto mikro. Pelat dipotong menjadi

1cm x 1cm dan dicetak dalam cetakan (*mounting*) dengan resin agar menghasilkan permukaan yang rata sehingga dapat dilihat dengan jelas dan fokus. Untuk setiap posisi maka pengujian dilakukan tiga kali dan hasilnya dirata-rata agar menghasilkan data yang lebih akurat.



Gambar 1. Skema kotak untuk proses penyinaran



Gambar 2. Skema proses *Deep Etching*

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses etching material kuningan dilakukan dengan menggunakan variasi arus listrik mulai dari tanpa arus ($I = 0$) dan arus 0.09 A, 0.12 A, 0.15 A, 0.30 A, dan 0.35 A. Adapun variabel lain dijaga konstan yaitu dengan menggunakan waktu pencelupan selama 40 menit dan dengan komposisi *etchant* sebanyak 10% $FeCl_2$ dalam aquadest. Perhitungan teori dilakukan terlebih dahulu untuk dapat memberikan prediksi massa yang dapat terkikis. Data yang diambil dari penelitian adalah kecepatan pengikisan

beserta gambar profil dinding bawah dan samping hasil proses etching.

Kecepatan pengikisan

Kecepatan pengikisan material (*Material Removal Rate, MRR*) bahan kuningan selama mengalami proses *deep etching* dengan menggunakan variasi arus listrik dapat dihitung berdasarkan hukum Faraday sesuai persamaan (1). Untuk mendapatkan massa yang hilang selama proses etching maka hasil dari kecepatan pengikisan material dikalikan dengan luas penampang benda dan masa jenis teoritis.

$$MRR = \frac{M}{\rho n F} I t \text{ mm/detik} \quad (1)$$

Dimana:

I = Arus listrik (A)

M = Massa rumus kuningan (64.46 gr/mol)

A = Luas kolam/*bath* (1500 mm²)

ρ = Masa jenis aluminium (0.00803 g/mm³)

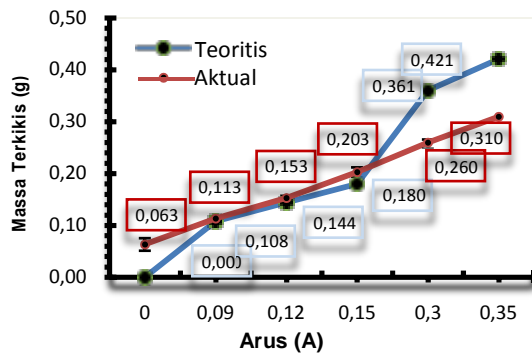
n = Elektron valensi (4)

F = Tetapan Faraday (96485 C)

t = Waktu pencelupan (40 menit)

Gambar 3 menunjukkan perbandingan hasil hasil eksperimen etching sebenarnya dan hasil teori perhitungan yang diperoleh menggunakan rumus (1). Setiap titik pada grafik proses eksperimen merupakan nilai rata-rata dari 3 percobaan. Dari hasil eksperimen diperoleh data bahwa dengan kenaikan arus listrik yang maka menghasilkan pertambahan massa yang terkikis. Hal ini sesuai dengan perhitungan teori yang didasarkan pada hukum Faraday pada persamaan (1). Hasil perbandingan keduanya menunjukkan penambahan arus berbanding lurus dengan penambahan material yang terkikis pada proses *etching* material kuningan. Pada proses etching yang dilakukan tanpa menggunakan arus (arus 0 Ampere) maka massa yang terkikis sebesar adalah 0.063 gram, sedangkan pada penggunaan arus listrik masing-masing dengan arus 0.09 A, 0.12 A, 0.15 A, 0.30 A, dan 0.35 A maka massa yang terkikis masing-masing adalah 0.113, 0.153, 0.203, 0.361, dan 0.421 gram. Dari hasil tersebut

maka dapat diketahui bahwa pada hasil perhitungan teori hamper mendekati hasil eksperimen dimana peningkatan arus akan menghasilkan penambahan massa terkikis secara linier. Fenomena ini juga sesuai dengan penelitian sebelumnya [7]. Akan tetapi, kelihatan jelas bahwa perhitungan teoritis tidak dapat digunakan untuk menentukan besar massa terkikis karena arus 0 akan menghasilkan massa terkikis 0 pula. Padahal pada eksperimen sebenarnya terdapat massa terkikis yang cukup signifikan.

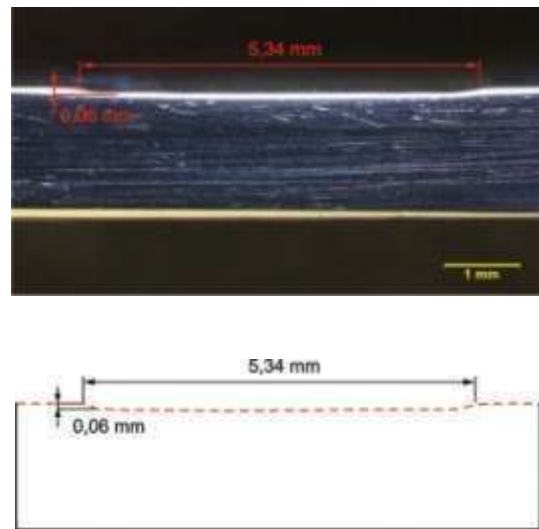


Gambar 3. Pengaruh arus terhadap massa yang tergerus pada proses etching

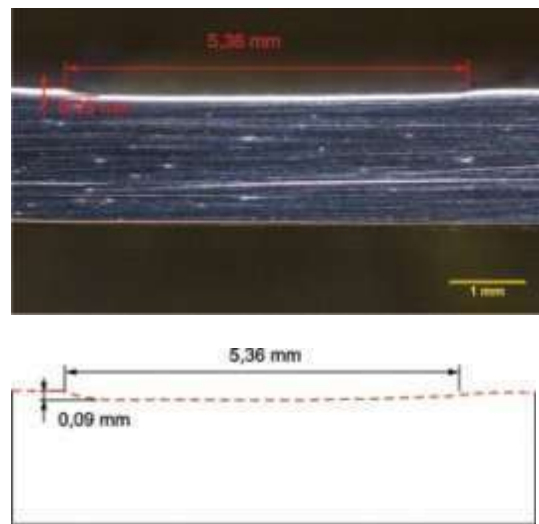
Profil dinding bawah

Profil dinding hasil proses etching diambil pada sisi bawah dan sisi samping. Gambar 4-9 menunjukkan foto mikro profil dinding bagian bawah hasil proses deep etching material kuningan yang menggunakan arus 0, 0.09, 0.12, 0.15, 0.3 dan 0.35 A. Hasil foto mikro menunjukkan bahwa proses etching dengan tanpa arus (0 A) menghasilkan kedalaman 0,06 mm. Selanjutnya, dengan menggunakan arus listrik 0.09, 0.12, 0.15, 0.3 dan 0.35 A maka proses deep etching kuningan menghasilkan kedalaman masing-masing 0.095 mm, 0.11 mm, 0.20 mm, 0.21 mm dan 0.43 mm. Dari hasil tersebut maka dapat diketahui bahwa pertambahan arus akan mengakibatkan bertambahnya kedalaman pemakanan. Pengamatan sepanjang garis horizontal pada garis kedalaman permukaan menunjukkan bahwa permukaan hasil proses etching cukup merata, meskipun beberapa lokasi ada yang

kasar. Hal ini dapat disebabkan karena beberapa faktor internal bahan seperti komposisi material yang tidak sepenuhnya homogen dan murni yang mempengaruhi kecepatan reaksi pengikisan. Selain itu, pengaruh luar dari gerakan benda selama proses etching juga dapat mempengaruhi kerataan permukaan.



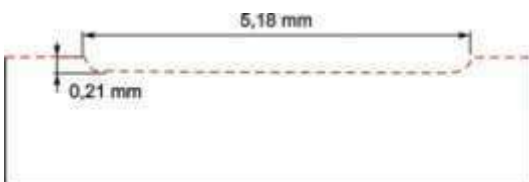
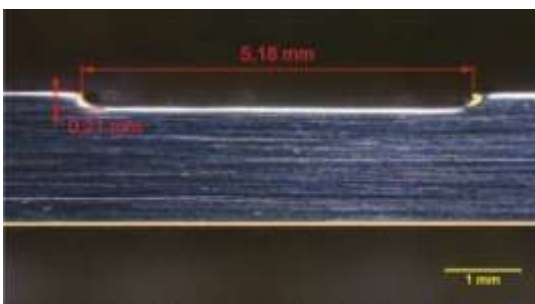
Gambar 4. Foto mikro profil dinding bawah dengan arus 0 A (tanpa arus)



Gambar 5. Foto mikro profil dinding bawah dengan arus 0.09 A



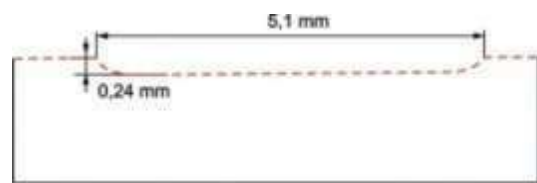
Gambar 6. Foto mikro profil dinding bawah dengan arus 0.12 A



Gambar 7. Foto mikro profil dinding bawah dengan arus 0.15 A



Gambar 8. Foto mikro profil dinding bawah dengan arus 0.3 A



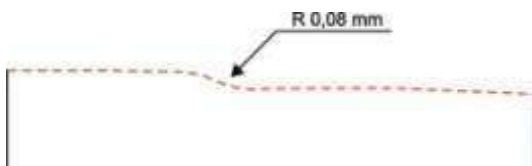
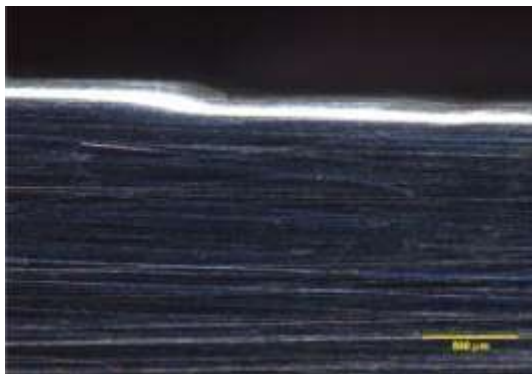
Gambar 9. Foto mikro profil dinding bawah dengan arus 0.35 A

Profil dinding samping

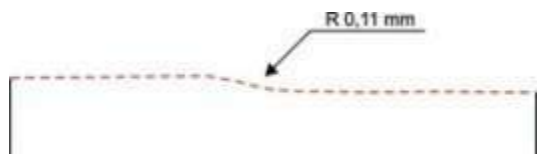
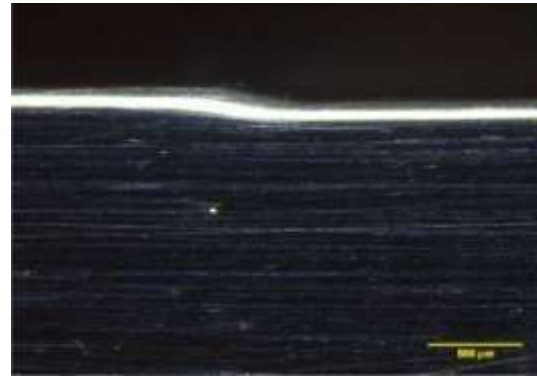
Gambar 10-15 menunjukkan foto mikro profil dinding bagian samping hasil proses deep *etching* material kuningan yang menggunakan arus 0, 0.09, 0.12, 0.15, 0.3 dan 0.35 A. Dari hasil pengamatan terhadap profil dinding samping diperoleh informasi bahwa pemakanan ke arah samping tidak lurus, tetapi membentuk profil lengkung. Pengukuran terhadap jari-jari kelengkungan untuk proses deep etcing dengan variasi arus 0, 0.09, 0.12, 0.15, 0.3 dan 0.35 A masing-masing menghasilkan profil dengan jari-jari kelengkungan 0.08, 0.11, 0.13, 0.37, 0.39, dan 0.44 mm. Kejadian profil lengkung pada pemakanan material pada proses *etching* mungkin dapat dikaitkan dengan dengan sifat tekanan hidrostatis air, dimana air mempunyai tekanan yang sama ke segala

arah. Profil lengkung berhubungan dengan hasil tekanan yang sama dari satu titik di pusat kelengkungan. Hal lain yang juga perlu diperhatikan adalah semakin bertambah kedalaman benda maka kecepatan pemakanannya semakin rendah. Kemudian dengan penggunaan variasi arus maka profil dinding samping menghasilkan bentuk dengan kecenderungan yang hampir sama. Penjelasan lain juga ditemui dalam beberapa literatur yang menyebutkan bahwa kelengkungan pada profil dinding samping hasil proses etching disebabkan oleh sifat isotropic material yang menyebabkan pengikisan sama ke segala arah.

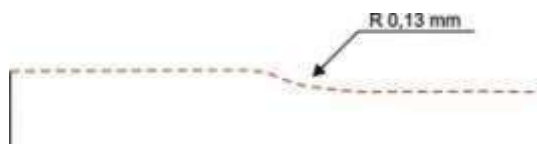
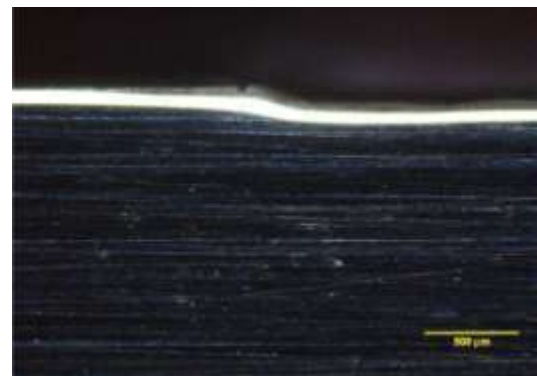
Fenomena lain yang terjadi pada proses deep etching adalah bahwa proses pengikisan mengalami *undercut*, yaitu pemakanan dinding samping di bawah lapisan *resist*. Hal ini disebabkan karena sifat zat cair yang memenuhi penampang yang ditempatinya sehingga menyebabkan pemakanan ke segala arah yang menyebabkan terjadinya *undercut*. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya [2].



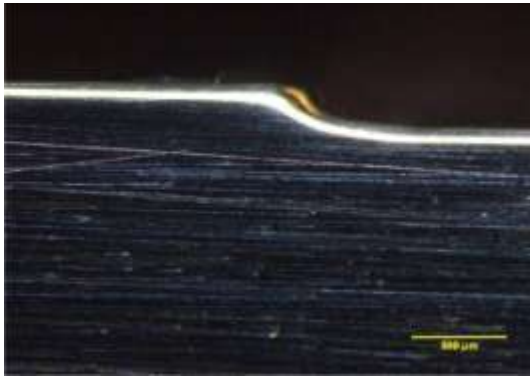
Gambar 10. Foto mikro profil dinding samping dengan arus 0 A (tanpa arus)



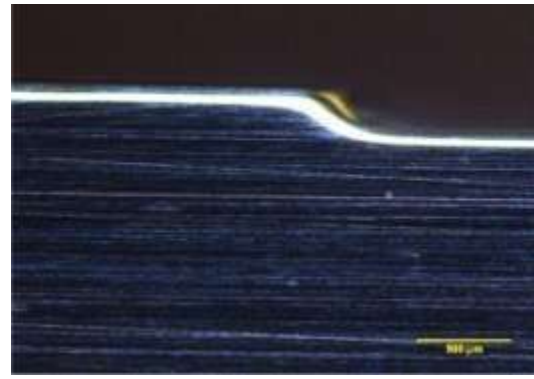
Gambar 11. Foto mikro profil dinding samping dengan arus 0.09 A



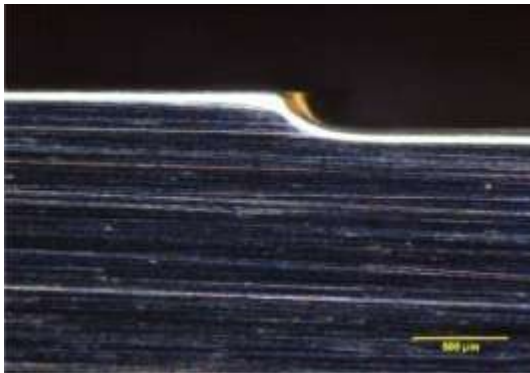
Gambar 12. Foto mikro profil dinding samping dengan arus 0.12 A



Gambar 13. Foto mikro profil dinding samping dengan arus 0.15 A



Gambar 15. Foto mikro profil dinding samping dengan arus 0.35 A



Gambar 14. Foto mikro profil dinding samping dengan arus 0.3 A

5. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pada proses *deep etching* dengan bahan kuningan diperoleh kesimpulan bahwa kecepatan pengikisan bahan terhadap penggunaan arus searah yang bervariasi mulai dari arus 0, 0.09, 0.12, 0.15, 0.3 dan 0.35 A maka semakin besar arus akan mengakibatkan semakin besar pula massa pelat kuningan yang terkikis. Hasil prediksi menggunakan perhitungan yang didasarkan hukum Faraday juga mendekati dengan hasil dari eksperimen. Berdasarkan fotomikro pada permukaan dinding bawah dan samping juga diperoleh informasi bahwa profil kedalaman pemakanan bertambah seiring dengan penambahan arus. Sedangkan profil dinding samping membentuk kecenderungan yang sama yaitu berbentuk radius, dimana hal ini dimungkinkan oleh sifat material yang isotropik dan sifat tekanan hidrostatik dari cairan etchant.

Beberapa masalah yang belum terselesaikan pada penelitian ini perlu diperhatikan untuk diteliti lebih lanjut, diantaranya adalah bahwa proses *deep etching* yang dilakukan ini termasuk proses basah yang menggunakan larutan sehingga berakibat pada terjadinya kurang-precisian pada pemakanannya yang membentuk profil

dinding samping dan bawah tidak sama atau membentuk profil radius, dan juga masih terjadinya *undercut*. Penelitian lanjutan sangat disarankan dengan menggunakan proses kering yaitu proses etching yang menggunakan plasma. Menurut beberapa penelitian awal yang dijumpai pada literatur, proses *etching* plasma dapat menghasilkan profil yang seragam.

6. REFERENSI

- [1] M. Bauhuber, A. Mikrievskij, and A. Lechner, "Isotropic wet chemical etching of deep channels with optical surface quality in silicon with HNA based etching solutions," *Mater. Sci. Semicond. Process.*, vol. 16, no. 6, pp. 1428–1433, 2013.
- [2] O. Çakır, "Chemical etching of aluminium," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 199, no. 1–3, pp. 337–340, 2008.
- [3] C. Ban, Y. He, X. Shao, and J. Du, "Effect of pretreatment on electrochemical etching behavior of Al foil in HCl–H₂SO₄," *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, vol. 23, no. 4, pp. 1039–1045, 2013.
- [4] C. Pakpum and P. Limsuwan, "A deep AlTiC dry etching for fabrication of Burnish and Glide slider head," *Procedia Eng.*, vol. 32, pp. 1037–1042, 2012.
- [5] G. Hu, H. Zhang, W. Di, and T. Zhao, "Study on Wet Etching of AAO Template," *Carbon Nanotub.*, vol. 1, no. 2, pp. 78–82, 2004.
- [6] W. Lin, G. C. Tu, C. F. Lin, and Y. M. Peng, "The effect of lead impurity on the DC-etching behaviour of aluminum foil for electrolytic capacitor usage," *Corros. Sci.*, vol. 38, no. 9, pp. 889–907, 1996.
- [7] N. Khamnualthong, K. Siangchaew, and P. Limsuwan, "Study of chromium hard mask formation and wall angle control for deep etching application," *Procedia Eng.*, vol. 32, pp. 922–928, 2012.
- [8] A. Ivanov and U. Mescheder, "Dynamic Simulation of Electrochemical Etching of Silicon," *Proceeding 2012 COMSOL*, 2012.