

**NASKAH PUBLIKASI
TUGAS AKHIR**

**PENGEMBANGAN PROSES *DEEP ETCHING* UNTUK APLIKASI
MICROMACHINING MATERIAL KUNINGAN**



Diajukan Sebagai Syarat Menyelesaikan Program Studi Strata Satu
Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta

Disusun oleh :

SIGIT ASMORO

NIM : D 200.10.0086

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS
MUHAMMADIYAH SURAKARTA
Juni 2015**

HALAMAN PENGESAHAN
NASKAH PUBLIKASI TUGAS AKHIR

Naskah publikasi yang berjudul "**PENGEMBANGAN PROSES DEEP ETCHING UNTUK APLIKASI MICROMACHINING MATERIAL KUNINGAN**", telah disetujui dan disahkan oleh Pembimbing Tugas Akhir sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

ABSTRAKSI

Dipersiapkan Oleh :

Nama : **SIGIT ASMORO**

NIM : **D 200.10.0086**

Disetujui Pada :

Hari : Kamis

Tanggal : 02 Juli 2015

Pembimbing Utama,



Tri Widodo Besar R., ST, M.Sc, Ph.D

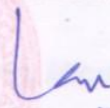
Pembimbing Pendamping,



Nurmuntaha AN., ST, Pg, Dip.

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin,



Tri Widodo Besar R., ST, M.Sc, Ph.D

PENGEMBANGAN PROSES *DEEP ETCHING* UNTUK APLIKASI *MICROMACHINING* MATERIAL KUNINGAN

Sigit Asmoro, Tri Widodo Besar R, Nurmuntaha A N
Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos I Pabelan, kartasura
e-mail: sigitasmoromesin@gmail.com

ABSTRAKSI

Deep etching merupakan proses pengikisan logam untuk memperoleh kedalaman yang lebih. Metode yang digunakan wet etching yaitu pencelupan benda kerja kedalam larutan kimia. Proses ini di aplikasikan untuk proses micromachining yang didasarkan pada prinsip proses pemesinan yang mampu mengikis material dalam ukuran kecil hingga ukuran atom. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh arus listrik, waktu pencelupan dan komposisi larutan terhadap profil dinding dan laju pengikisan material pada proses deep etching..

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuningan dengan ketebalan 2 mm. Proses deep etching dilakukan dengan variasi arus 0,09 A, 0,12 A, 0,15 A, 0,30 A, 0,35 A, variasi waktu 60 menit, 90 menit, 120 menit, 150 menit, 180 menit dan variasi komposisi larutan 6,67%, 8,33%, 10%, 11,67% 13,33%..

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh penambahan arus listrik, waktu pencelupan dan komposisi larutan mengakibatkan bertambahnya kedalaman pemakanan etchingnya. Dimana nilai tertinggi untuk variasi arus 0,31 g, variasi waktu pencelupan 0,76 g dan variasi komposisi larutan 0,48 g. Sedangkan untuk profil dinding bersifat isotropik.

Kata kunci : *Deep Etching, Electro Etching, Micromachining*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kebutuhan akan perangkat yang lebih portabel, praktis serta ukuran yang minimalis mendorong perkembangan teknologi di bidang industri mekanik dan elektronik untuk membuat produk dengan komponen-komponen sekecil mungkin. Untuk membuat komponen-komponen kecil tersebut biasanya dilakukan dengan proses yang dikenal dengan proses *micromachining*. *Micromachining* merupakan proses permesinan dengan ukuran yang sangat kecil hingga mencapai ukuran micro. Proses permesinan biasa seperti mesin bubut dan mesin frais tidak mampu untuk menangani hal tersebut karena keterbatasan ukuran pahatnya. Salah satu proses *micromachining* yaitu dengan proses etsa dalam (*deep etching*) yang melibatkan penggunaan larutan kimia. Pada dunia industri elektronika, istilah etsa merupakan metode subtraktif (pengurangan) pada permukaan logam baik dengan proses *wet etching* maupun *dry etching*.

Proses *deep etching* pada awalnya merupakan proses etsa biasa yang membutuhkan larutan kimia untuk melarutkan permukaan logam yang tidak terlindung dari *resist* atau *mask* menggunakan asam atau alkali. Etsa pertama kali dikenal pada abad pertengahan (tahun 1800-an) di benua Eropa untuk menghias permukaan logam seperti baju baja, meriam, dan pelat. Beberapa logam yang sering digunakan dalam proses etsa adalah magnesium, baja dan aluminium. Pelarut yang digunakan pun bermacam-macam. Proses etsa ini kemudian dikembangkan menjadi *deep*

etching agar menghasilkan kontur produk 3 dimensi yang lebih dalam. *Deep etching* memiliki kelemahan yaitu terjadinya *undercutting* pada dinding bagian bawah permukaan yang dilapisi *mask*.

Proses *deep etching* dapat dilakukan dengan dua cara yaitu *electroless etching* dan *electro etching*. *Electroless etching* disebut dengan istilah *deep etching* saja. Proses *deep etching* secara *electroless* kemudian berkembang dengan adanya penambahan arus sehingga dikenal sekarang sebagai *electro etching*. Proses ini melibatkan pengendalian larutan pada suatu benda kerja (*workpiece*) yang berada pada anoda kutub positif di dalam suatu sel elektrolit. Metode ini memiliki kemampuan unik meliputi kemampuan melakukan permesinan dan kontur yang rumit tanpa tanda bekas permesinan, beram maupun tegangan permukaan. Studi tentang adanya penambahan arus terbukti dapat meningkatkan laju pengikisan material. *Electro-chemical machining* adalah istilah lain yang sering digunakan yang mengacu pada jenis ini.

Pembatasan Masalah

1. Jenis pelat yang digunakan ialah pelat kuning.
2. Desain untuk *resist* pelat berupa film negatif.
3. Memilih jenis *resist/mask* untuk pelat kuning.
4. Metode transfer desain film ke pelat menggunakan metode fotolitografi.
5. Pemilihan pelarut etsa (*etchant*) yang akan digunakan ferric chloride dan *aquadest*.
6. Komposisi perbandingan bahan pelarut yang digunakan yaitu fraksi masa.

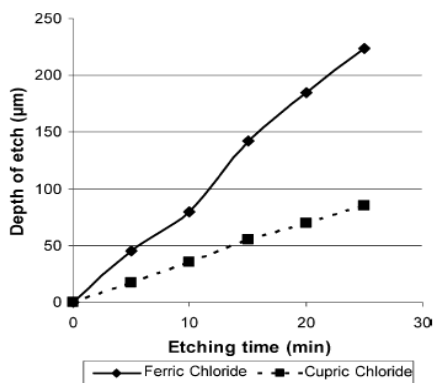
7. Penambahan arus pada saat proses pelarutan yaitu menggunakan travo dengan anoda pada pelat kuningan dan katoda pada pelat yang dikorbankan.
8. Pengujian pelat secara fisis.

Tujuan Penelitian

Penelitian dan pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh arus listrik, lama waktu pencelupan dan komposisi larutan terhadap profil dinding dan laju pengikisan material pada proses *electro etching* kuningan.

Tinjauan Pustaka

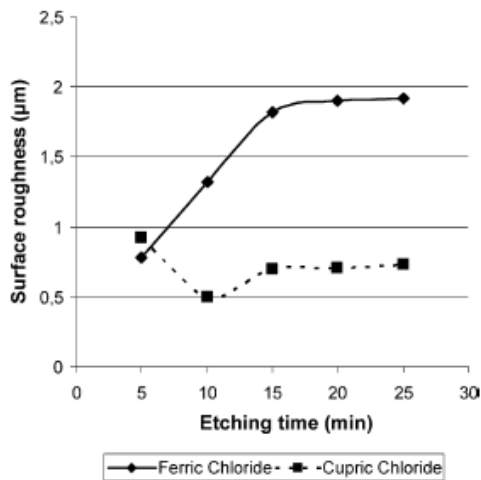
Cakir dkk. (2005) mengatakan bahwa Etsa kimia adalah pengerusan dikendalikan dari bahan / benda kerja melalui kontak dengan larutan kimia yang kuat. Proses ini dapat diterapkan untuk bahan apapun. Tembaga adalah salah satu bahan rekayasa secara luas digunakan dalam pembuatan komponen mikroelektronik, microengineered struktur dan bagian presisi dengan menggunakan proses etsa kimia. Dalam penelitian ini, tembaga kimia terukir dengan dua larutan etsa yang berbeda (besi klorida dan klorida tembaga) pada 50° C. Pengaruh dari etsa dan kondisi permesinan pada kedalaman etsa dan kekasaran permukaan diselidiki. Penelitian eksperimental asalkan besi klorida menghasilkan tingkat etsa kimia tercepat, tetapi tembaga klorida yang dihasilkan permukaan halus.



Gambar 1. Hubungan antara kedalaman pemakanan etsa dan waktu (Cakir dkk, 2005).

Kedalaman etsa diperiksa dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar. 2. Setelah diamati ternyata penggunaan $FeCl_3$ menghasilkan nilai etsa tertinggi dibandingkan dengan $CuCl_2$. Setelah periode etsa 25-menit, kedalaman nilai etsa yang 224 μm untuk $FeCl_3$ dan 85 μm untuk $CuCl_2$ etsa. Laju etsa kimia sebesar 9,3 $\mu m/min$ untuk $FeCl_3$ dan 3,4 $\mu m/min$ untuk $CuCl_2$. Etching $FeCl_3$ pada permesinan tembaga memiliki dua proses etsa. Etsa pertama adalah $FeCl_3$ dan etsa kedua adalah $CuCl_2$. Hal inilah yang menyebabkan tingkat etsa $FeCl_3$ lebih tinggi dibandingkan dengan $CuCl_2$ saja.

Pemeriksaan kekasaran permukaan untuk tiap-tiap proses etsa dilakukan dan hasilnya dilihat pada Gambar 3. harapan umum dari proses etsa kimia adalah untuk mendapatkan kemungkinan permukaan akhir yang terbaik. Hal ini sangat penting dalam penurunan massa material. Diamati bahwa $FeCl_3$ menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih kasar dari $CuCl_2$. Kekasaran permukaan menurun di awal proses etsa kimia dan meningkat selama proses etsa dalam aplikasi $FeCl_3$. Setelah periode etsa 15-min, nilai kekasaran permukaan menjadi stabil. Kekasaran permukaan Ra adalah 1,92 μm . Kekasaran permukaan disajikan tren yang berbeda untuk $CuCl_2$, kualitas permukaan meningkat untuk pertama 10-min etsa dan kemudian kekasaran permukaan sedikit meningkat dan menjadi konstan. Nilai Ra adalah 0,73 μm setelah 25 menit dari waktu etsa. Dari sudut pandang kualitas permukaan, etsa menggunakan $CuCl_2$ menghasilkan permukaan akhir lebih baik dari $FeCl_3$.



Gambar 2. Hubungan antara kekasaran permukaan dengan waktu etching (Cakir dkk, 2005).

Huang, dkk (2006) menyatakan bahwa etsa tembaga dipelajari dengan menggunakan metode *wet etch* dalam larutan kimia berair terdispersi dalam air tetesan minyak microemulsi. Fase berair terdiri dari campuran klorida tembaga / kalium ekuimolar khas etsa tembaga dan kekasaran permukaan dipelajari menggunakan microemulsi terbentuk dengan ion, nonionik dan campuran ion / surfaktan nonionik. Komposisi masing-masing microemulsi tetap, kondisi tingkat konduktivitas diukur sebagai fungsi temperatur. Konduktivitas menawarkan rute untuk menyelidiki permukaan ion antara tetesan microemulsi, sedangkan tingkat etsa berkaitan dengan reaksi tetesan dengan permukaan padat. Data menunjukkan bahwa korelasi antara tingkat etsa dan kondisi listrik dari microemulsi dimana setiap microemulsi yang diberikan meningkatkan konduktivitas yang berpengaruh terhadap meningkatnya laju pengikisan mikroskop atom menunjukkan bahwa kekerasan permukaan tembaga setelah proses etsa menggunakan microemulsi

lebih rendah dibandingkan dengan kekerasan permukaan pada proses etsa tanpa microemulsi. Dari hasil penelitian dapat diambil kesimpulan bahwa dimungkinkan untuk menyesuaikan laju etsa dan kekasaran permukaan dengan mengubah komposisi microemulsi dan suhu. Kandungan air dalam microemulsi secara signifikan mengubah laju etsa ke permukaan dan dapat digunakan dalam skala nano.

Wang, dkk (2010) menyatakan bahwa dalam larutan asam klorida, Fe^{3+} adalah oksidan dan Cl^- adalah pengompleks yang akan mempercepat pelepasan ikatan logam tembaga. Berdasarkan analisis termodinamika, pembubaran ikatan logam tembaga dalam larutan asam yang mengandung besi klorida diselidiki secara rinci. Parameter terkait seperti konsentrasi klorida, konsentrasi Cl^- berlebih, kecepatan pengadukan, rasio padat / cair dan suhu secara sistematis dipelajari. Kecepatan melarut tembaga meningkat secara signifikan sebagai nilai pH menurun dari 2 ke 0. Kehadiran $FeCl_3$ mempercepat secara signifikan terhadap pembubaran logam tembaga. Peningkatan kecepatan pengadukan 150-400 rpm dan meningkatkan suhu dari 1 sampai $50^{\circ}C$ sangat meningkatkan laju disolusi tembaga. Meningkatkan rasio padat / cair 0,001-0,004 g/ml menurunkan laju disolusi. Konsentrasi Cl^- berlebih yang berasal dari penambahan NaCl memiliki efek yang tidak signifikan terhadap pembubaran logam tembaga. Laju disolusi tembaga dalam larutan asam $FeCl_3$ tepat mengikuti persamaan konversi waktu dimana R adalah fraksi bereaksi bubuk tembaga, k adalah konstanta laju reaksi, t adalah waktu pembubaran. Energi aktivasi ditemukan

24,9 kJ/mol dan inti difusi dianggap sebagai langkah pengendalian.

LANDASAN TEORI

Pengertian etsa

Etsa (*etching*) adalah proses pelarutan logam menggunakan asam yang kuat (*strong acid*) pada bagian yang tidak terlindungi pada permukaan logam untuk membuat desain melalui metode intaglio pada logam (Wikipedia). Istilah “pengetsaan dalam” atau *deep etching* mengacu pada penggunaan asam dengan konsentrasi yang tinggi untuk mengkasarkan permukaan (*roughing*) dari spesimen metallografi (Rawdon, 1920).

Etsa dapat dilakukan pada lingkungan basah (*wet etching*) maupun kering (*dry etching*). Etsa pada lingkungan basah melibatkan penggunaan cairan pengetsa (*etchants*). Pelat atau logam biasanya dicelupkan ke dalam larutan pengetsa dan material dilarutkan melalui proses kimiawi. Sedangkan etsa kering melibatkan pengetsa dalam fase gas pada plasma. Di sini proses etsa yang terjadi merupakan gabungan antara proses kimia dan fisik karena adanya plasma. Etsa kering sering juga disebut sebagai *plasma etching*.

Metode etsa menggunakan larutan pada umumnya menggunakan proses komponen *microelectronic* dikarenakan selektifitasnya, kecepatan laju etsanya serta rendahnya biaya investasi. Pelarutan logam pada etsa basah diikuti dengan *undercutting* pada fotoresist dan umumnya isotropik alami. Pada proses *isotropic etching*, material digerus pada arah vertikal dan horizontal pada laju yang sama.

Meskipun reaksi pelarutan logam pada etsa basah merupakan

reaksi elektro kimia alami, proses dimana sumber energi untuk reaksi larutan yang datang dari *etchant* dikenal sebagai *chemical etching* (Datta, 2002).

Mask

Mask atau *resist* pada umumnya digunakan untuk melindungi bagian dari *workpiece* (benda kerja) dimana tidak diperlukan perlakuan etsa atau pelarutan. Material berbasis sintetik atau karet biasa digunakan untuk menjadi *mask*. *Mask* atau *resist* harus memenuhi beberapa kriteria seperti melekat dengan baik pada permukaan benda kerja, tidak ikut bereaksi saat pelarutan, mampu menahan panas yang timbul akibat etsa dan mudah dihilangkan serta tidak mahal (Rawdon, 1920).

Etchant

Merupakan larutan asam atau alkaline yang diatur dengan mengendalikan tingkatan komposisi kimia dan temperatur. Tujuan utama *etchant* adalah untuk memperoleh permukaan akhir yang baik dan penggerusan yang seragam pada logam (Rawdon, 1920).

- *Ferrid chloride* (FeCl_3) merupakan larutan kimia yang bersifat *deliquescent* (berbuih di udara lembab) karena munculnya HCl, yang terhidrasi membentuk kabut. Bila dilarutkan dalam air mengalami hidrilisis yang merupakan reaksi eksotermis (menghasilkan panas). HCl yang terbentuk akan menggerus oksida tembaga dan mengakibatkan FeCl_3 dapat menyerang langsung pada logam tembaga. akan tetapi peningkatan konsentrasi asam juga meningkatkan laju etsa pada arah

lateran atau proses undercut(Chamcut, 2015)

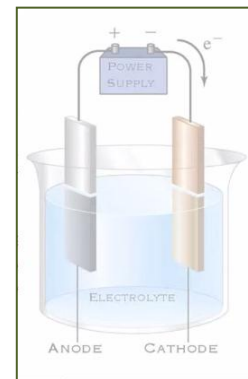
- *Aquades* ialah air hasil destilisasi / penyulingan sama dengan air murni atau H₂O

Deep etching

Deep etching merupakan etsa yang ditujukan agar memperoleh kedalaman yang lebih pada akhir proses etsa. *Deep etching* dengan metoda *wet etching* akan memerlukan waktu pencelupan yang lebih lama dan diperlukan beberapa kali pencelupan. Dikarenakan prosesnya yang lama, membutuhkan lebih banyak larutan *etchant* serta profil dinding terutama *side wall* akan ikut tergerus. Untuk menghindari hal seperti ini para pekerja seni biasanya menambahkan *resist* atau *mask* pada *side wall* agar tidak itu tergerus (Paliadi). *Deep etching* untuk proses permesinan dirasa kurang cocok oleh karena itu dalam melakukan *deep etching*, metode *dry etch* atau *plasma etching* dipilih dengan berbagai pertimbangan diatas.

Electro etching

Electro etching merupakan proses etsa dengan penambahan arus di dalamnya. Sebuah baterai DC atau sumber daya lain dapat digunakan dalam hal ini. Pada etsa jenis ini kutub positif baterai dihubungkan pada logam yang akan dietsa melalui kabel sebagai anoda dan logam yang dikorbankan (*sacrificed metal*) pada kutub negatif. Atom logam yang akan dietsa bermuatan positif akan melompat menuju pada katoda melalui asam maupun larutan yang digunakan. Sketsa proses *electro etching* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Sketsa proses *electro etching* (anveshana,2012)

Material removal rate (MRR)

Laju penghilangan material (*MRR*) mm/s dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$MRR = \frac{IM}{nFA\rho}$$

Dimana :

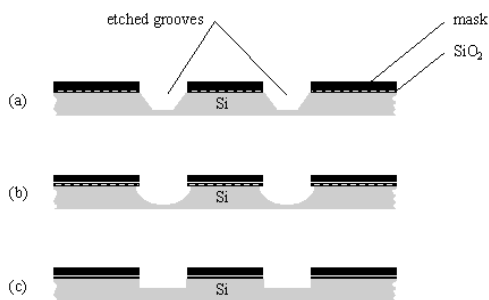
- I = Arus (A)
- M = Massa molekul bahan yang tergerus (g/mol)
- n = Valensi pelarutan
- F = Konstanta Faraday (95.500 coulumb)
- A = Luas permukaan (mm²)
- ρ = Berat jenis (g/cm³)

Profil dinding hasil *deep etching*

Dalam proses *electro etching* idealnya profil permukaan dinding bagian sisi samping tegak lurus dengan lapisan *resist*. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4 (c) yang biasa disebut dengan anisotropik total dimana arah penggerusan vertikal serta tidak mengenai dinding bagian samping. Sudut yang terbentuk antara dinding bawah dan samping membentuk sudut 90°. Selain anisotropik total, terdapat dua keadaan lain profil dinding hasil etsa yaitu isotropik dan anisotropik.

Isotropik merupakan keadaan dimana proses penggerusan terjadi seragam ke segala arah. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4 (b) dimana tidak terjadi sudut antara dinding bawah dan samping melainkan terjadi cekungan tirus. Keseragaman penggerusan ini menyebabkan terjadinya *undercutting* pada bagian bawah lapisan *mask*.

Anisotropik terjadi bila proses penggerusan material cenderung pada arah vertikal. Walaupun terjadi pula penggerusan pada arah horisontal yaitu bagian dinding samping. Akan tetapi, tidak sedalam pada arah vertikal. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4 (a).



Gambar 4. Macam-macam profil permukaan pasca proses etsa: a. anisotropik, b. isotropik, c. Anisotropik total (Chakradhar, dkk. 2014)

Undercut

Undercut ialah pemakanan dinding samping dibawah resist. Undercut terjadi disebabkan beberapa hal diantaranya:

- Proses pemakanan / penggerusan larutan etsa basah cenderung mengerus pada arah vertikal maupun horisontal dengan sama besar.
- Kandungan asam bebas (HCL) yang timbul akibat larutan etchant utama (FeCl_3). Dimana HCL akan bereaksi dengan CuO yang

mengakibatkan FeCl_3 pada permukaan tembaga dapat mengerus pelat secara langsung.

Kuningan (CuZn)

Kuningan merupakan Paduan antara logam tembaga dan logam seng dengan kadar tembaga antara 60-90 % massa. Tembaga merupakan komponen utama dari kuningan, biasanya diklasifikasikan sebagai paduan tembaga. Warna kuningan bervariasi dari coklat kemerahan gelap hingga ke cahaya kuning keperakan tergantung pada jumlah kadar seng.

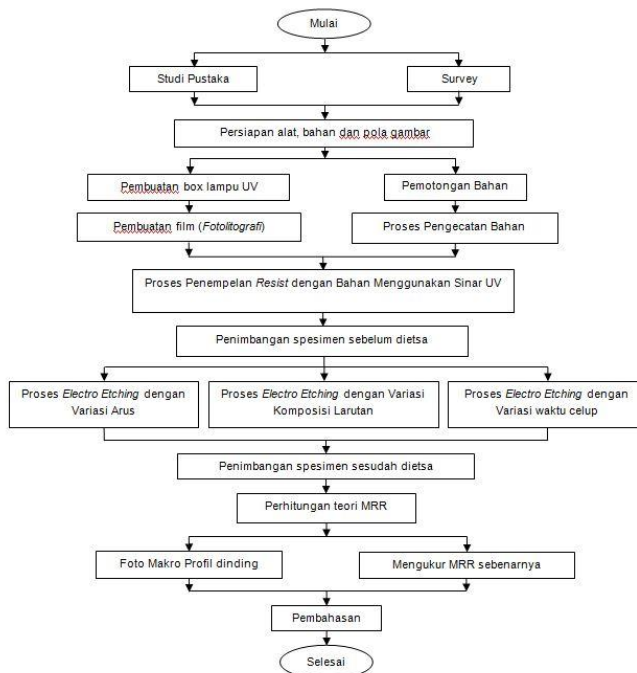
Seng lebih banyak mempengaruhi warna kuning tersebut. Kuningan lebih kuat dan lebih keras daripada tembaga, tetapi tidak sekuat atau sekeras seperti baja. Kuningan sangat mudah dibentuk, sebuah konduktor yang baik dan umumnya tahan terhadap korosi air garam

Jenis – jenis kuningan :

- a. Kuningan admirally, mengandung 30% seng, dan 1% timah.
- b. Kuningan aich, mengandung 60,66% tembaga, 36,58% seng, 1,02% timah, dan 1,74% besi.
- c. Kuningan alpha, memiliki kandungan seng kurang dari 35%. Bekerja dengan baik pada suhu dingin.
- d. Kuningan aluminium, mengandung aluminium yang menghasilkan sifat peningkatan ketahanan korosi. Kuningan arsenikum, berisi penambahan arsenik dan aluminium

METODE PENELITIAN

Diagram alir penelitian



Gambar 5. Diagram alir penelitian

Bahan dan Alat

Bahan dan alat yang telah digunakan dalam penelitian ini adalah

Bahan

1. Kuningan
2. Bahan cairan etsa:
 - a. *Ferric chloride*
 - b. *Aquadest*

Alat

1. Alat uji *metallography* (foto makro)
2. Alat bantu
 - a. Peralatan *safety*
 - Kaca mata pelindung
 - Masker
 - Sarung tangan karet
 - b. Peralatan etsa
 - Bok kontainer plastik
 - Gelas ukur
 - Travo
 - Alat box sinar UV
 - Film negatif

- Lem Ulano TZ
 - *Hair dryer*
 - Oven
 - Violet
 - Bicromat
 - Amplas
 - Cat besi
- c. Peralatan penunjang
- Mistar
 - Jangka sorong
 - *Stopwatch*
 - *Multi tester digital*
 - Timbangan digital

Data Hasil Penelitian

Variasi Arus

Penelitian *electro etching* dengan variasi arus menggunakan 6 variasi arus yaitu 0 (tanpa arus), 0,09, 0,12, 0,15, 0,3 dan 0,35 A. Masing-masing kondisi dilakukan 3 kali penelitian. Hasil lengkap perhitungan untuk variasi arus dapat dilihat pada Tabel 1. Berikut:

Tabel 1. Data massa tergerus aktual dengan variasi arus

| No | Arus | Komposisi <i>etchant</i> | Waktu celup | Rata-rata massa tergerus |
|----|------|--------------------------|-------------|--------------------------|
| | (A) | (%) | (menit) | (gr) |
| 1 | 0 | 10 | 120 | 0,063 |
| 2 | 0,09 | 10 | 120 | 0,11 |
| 3 | 0,12 | 10 | 120 | 0,15 |
| 4 | 0,15 | 10 | 120 | 0,20 |
| 5 | 0,3 | 10 | 120 | 0,26 |
| 6 | 0,35 | 10 | 120 | 0,31 |

Dengan menggunakan variasi arus, maka berdasarkan persamaan diatas dapat diperoleh hasil MRR teoritis, dan selanjutnya dapat dihitung laju volume dan laju massa yang hilang seperti pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Hasil massa tergerus teoritis dengan variasi arus

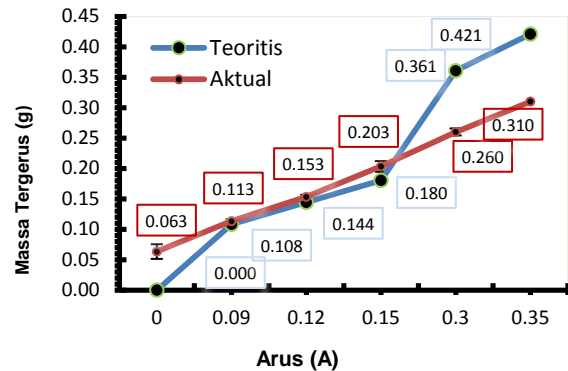
| No. | Arus (A) | MRR (mm/det) | Laju volume (mm ³ /det) |
|-----|----------|--------------|------------------------------------|
| 1 | 0,09 | 0,0000124 | 0,00187 |
| 2 | 0,12 | 0,0000166 | 0,00249 |
| 3 | 0,15 | 0,0000207 | 0,00311 |
| 4 | 0,3 | 0,0000415 | 0,00623 |
| 5 | 0,35 | 0,0000485 | 0,00727 |

| Laju massa (gr/det) | Massa yang hilang (gram) |
|---------------------|--------------------------|
| 0,0000153 | 0,108 |
| 0,0000200 | 0,144 |
| 0,0002505 | 0,180 |
| 0,0005010 | 0,360 |
| 0,0005845 | 0,420 |

Perbandingan hasil eksperimen dan perhitungan teoritis

Perbandingan massa yang tergerus teoritis maupun aktual dapat dilihat pada gambar 3 Grafik 3 menunjukkan hubungan antara arus dengan massa yang tergerus pada proses *electro etching* material CuZn. Setiap titik diambil rata-rata dari 3 spesimen. Grafik menunjukkan penambahan arus berbanding lurus dengan penambahan material yang tergerus pada proses *electro etching* material CuZn. Pada penambahan arus 0 A sampai 0,35 A terjadi penambahan massa yang tergerus dari 0,06 gram, 0,11 gram, 0,15 gram, 0,20 gram, 0,26 gram dan 0,31 gram. Dari data penelitian diketahui bahwa penambahan arus optimum terjadi pada titik 0,35 A. Akan tetapi, meskipun penggerusan optimum terjadi pada arus 0,35 A terdapat perbedaan penggerusan yang signifikan antara 3 spesimen. Penggerusan pada proses aktual cenderung meningkat bertahap dibandingkan dengan perhitungan teoritis dimana massa yang tergerus mengalami peningkatan secara linier seiring bertambahnya arus. Hal ini

sesuai dengan penelitian-penelitian sebelumnya sebagaimana penelitian (Datta, 2002).

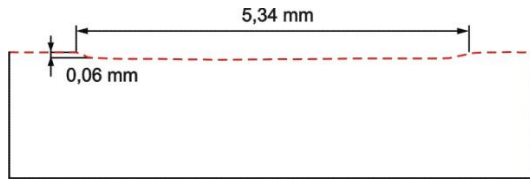
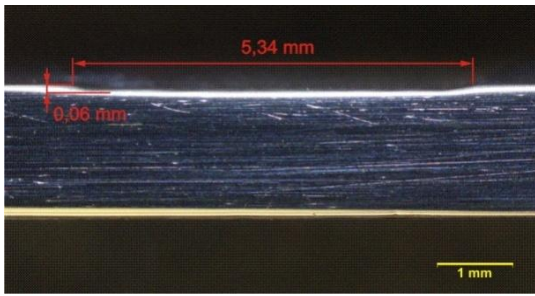


Gambar 6. Perbandingan massa yang tergerus dengan variasi arus secara teori dan eksperimen pada proses *electro etching* kuningan

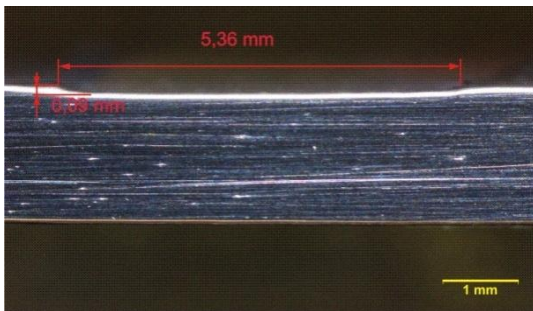
Foto makro profil dinding

a). Profil dinding bawah

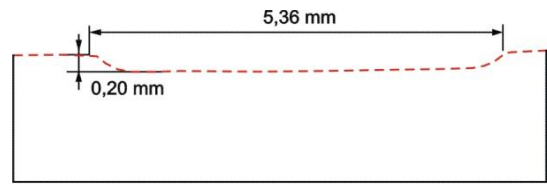
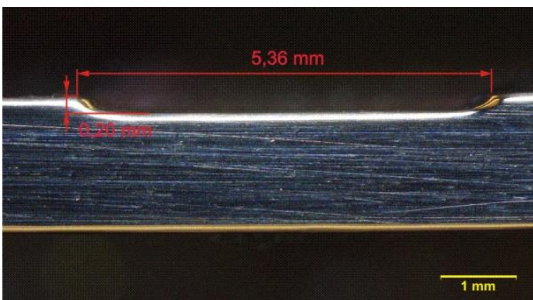
Gambar 7 - 12 menunjukkan foto makro profil dinding bawah hasil pengujian proses *electro etching* material aluminium dengan variasi arus. Dari 18 spesimen diambil 6 spesimen untuk diambil foto makronya. Spesimen tersebut mewakili profil dinding arus 0, 0,09, 0,12, 0,15, 0,3 dan 0,35 A dimana menghasilkan kedalaman pemakanan 0,06 mm, 0,095 mm, 0,11 mm, 0,20 mm, 0,21 mm dan 0,43 mm. Dari foto makro dapat ditarik kesimpulan bahwa pertambahan arus akan mengakibatkan bertambahnya kedalaman pemakanan etsanya. Meskipun demikian hasil uji kedalaman pada arus 0,09 A dan 0,35 A tidak linier.



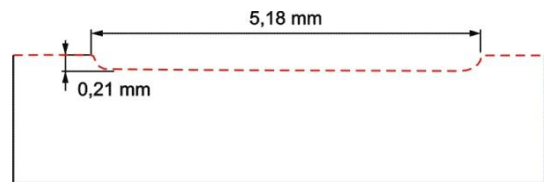
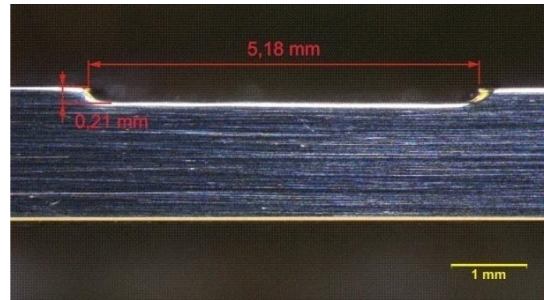
Gambar 7. Foto makro profil dinding bawah dengan arus 0 A (tanpa arus)



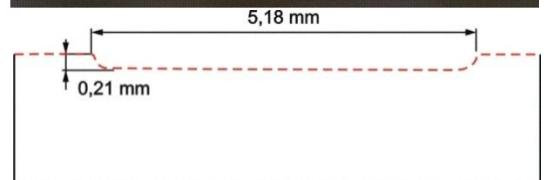
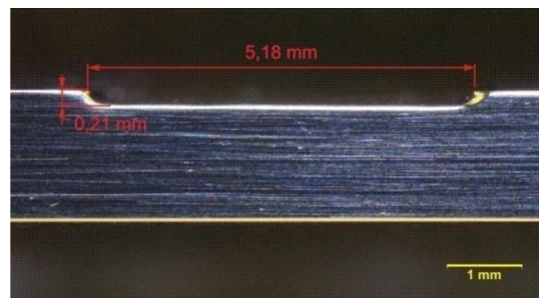
Gambar 8. Foto makro profil dinding bawah dengan arus 0,09 A



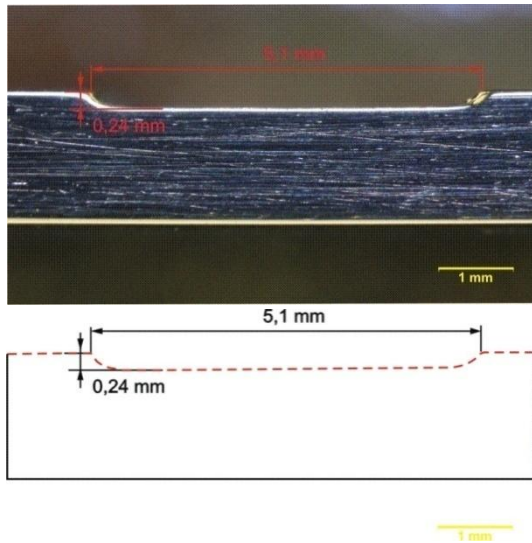
Gambar 9. Foto makro profil dinding bawah dengan arus 0,12 A



Gambar 10. Foto makro profil dinding bawah dengan arus 0,15 A



Gambar 11. Foto makro profil dinding bawah dengan arus 0,3 A

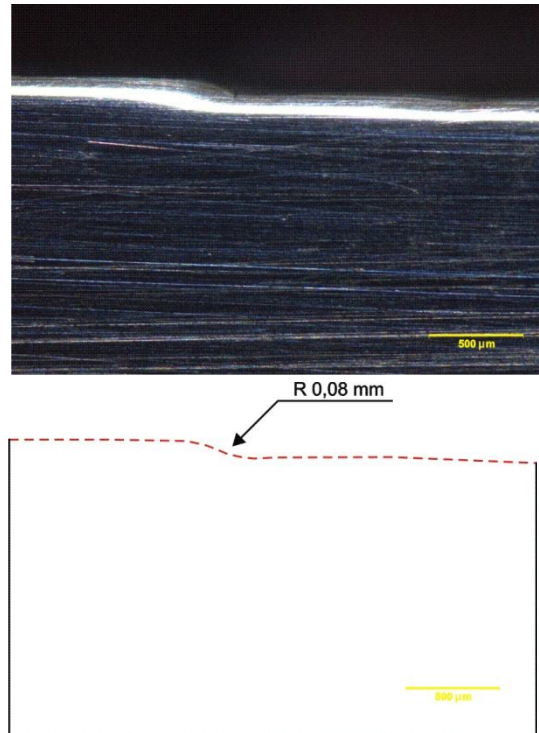


Gambar 12. Foto makro profil dinding bawah dengan arus 0,35 A

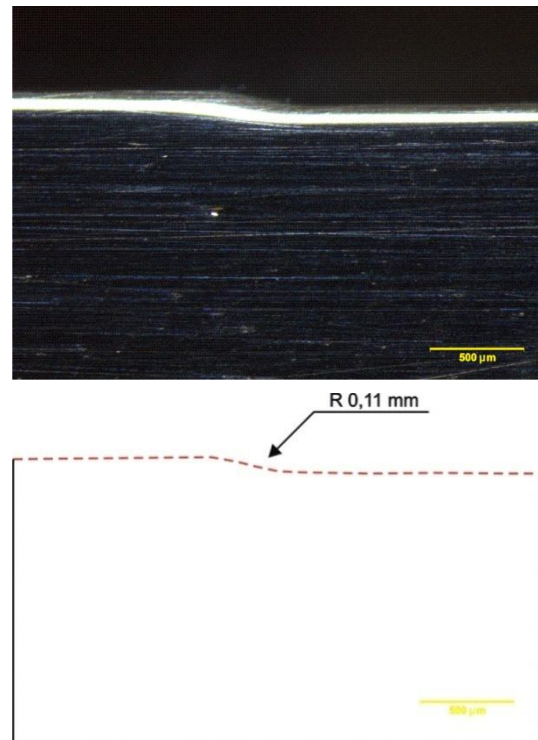
b). Profil dinding samping

Gambar 13 - 18 menunjukkan profil dinding samping hasil proses *electro etching* dengan variasi arus 0, 0,09, 0,12, 0,15, 0,3 dan 0,35 A. Berdasarkan hasil foto makro untuk semua arus maka diperoleh data berikut:

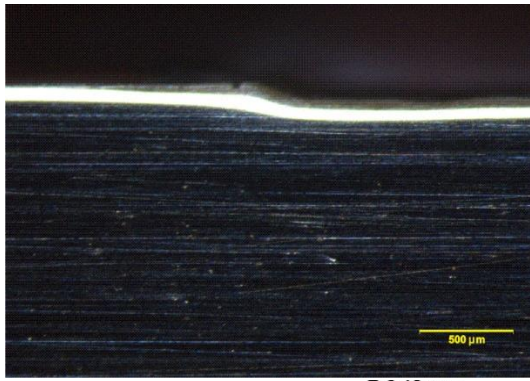
- Pemakanan ke arah samping tidak lurus, tetapi membentuk profil lengkung.
- Terjadi *undercut*, yaitu pemakanan dinding samping di bawah *resist*. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya sebagaimana penelitian (Pennathur, 2010).
- Pemakanan ke dinding bawah dan samping bersifat isotropik, yaitu kedalaman pemakanan secara vertikal dan horizontal cenderung tidak seragam. Hal ini sesuai dengan penelitian (Arokia Nathan, 2005) yang menyebutkan bahwasanya proses *wet etching* cenderung isotropik.



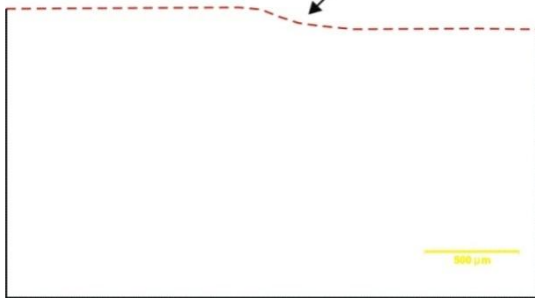
Gambar 13. Foto makro profil dinding samping dengan arus 0 A (tanpa arus)



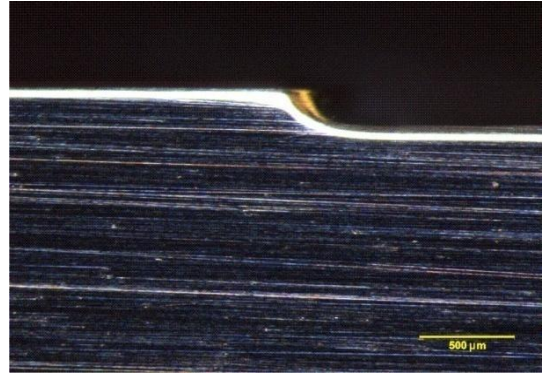
Gambar 14. Foto makro profil dinding samping dengan arus 0,09 A



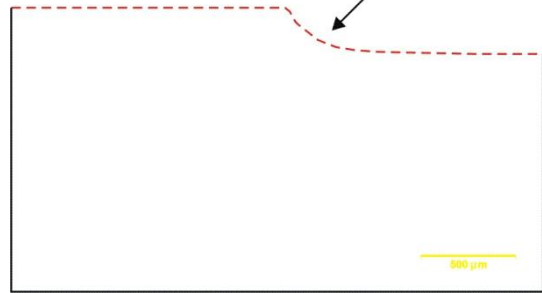
R 0,13 mm



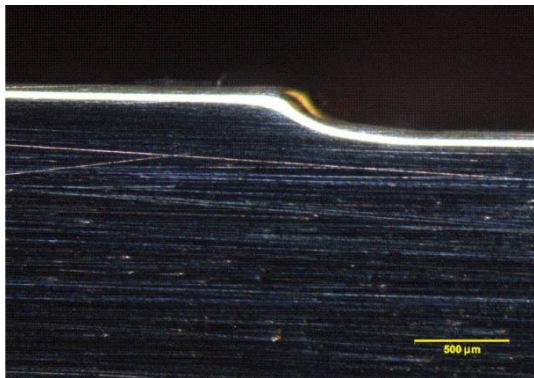
Gambar 15. Foto makro profil dinding samping dengan arus 0,12 A



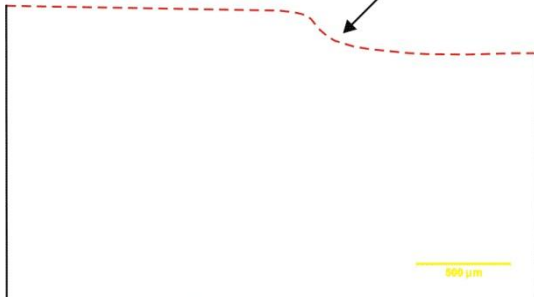
R 0,39 mm



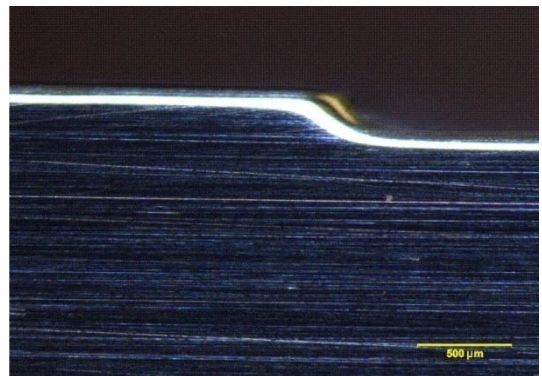
Gambar 17. Foto makro profil dinding samping dengan arus 0,3 A



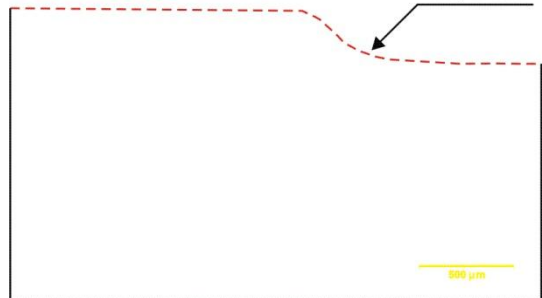
R 0,37 mm



Gambar 16. Foto makro profil dinding samping dengan arus 0,15 A



R 0,44 mm



Gambar 18. Foto makro profil dinding samping dengan arus 0,35 A

Variasi Waktu Pencelupan

Penelitian *electro etching* dengan variasi waktu pencelupan menggunakan 5 variasi waktu yaitu 60, 90, 120, 150 dan 180 menit. Masing-masing kondisi dilakukan 3 kali penelitian. Hasil lengkap perhitungan untuk variasi waktu pencelupan dapat dilihat pada Tabel 3. Berikut:

Tabel 3. Data massa tergerus aktual dengan variasi waktu pencelupan

| No | Arus | Komposisi etchant | Waktu celup | Rata-rata massa tergerus |
|----|------|-------------------|-------------|--------------------------|
| | (A) | (%) | (menit) | (gr) |
| 1 | 0,3 | 10 | 60 | 0,17 |
| 2 | 0,3 | 10 | 90 | 0,27 |
| 3 | 0,3 | 10 | 120 | 0,34 |
| 4 | 0,3 | 10 | 150 | 0,46 |
| 5 | 0,3 | 10 | 180 | 0,76 |

Dengan menggunakan variasi waktu pencelupan, maka berdasarkan persamaan diatas dapat diperoleh hasil MRR teoritis, dan selanjutnya dapat dihitung laju volume dan laju massa yang hilang seperti pada Tabel 4 berikut:

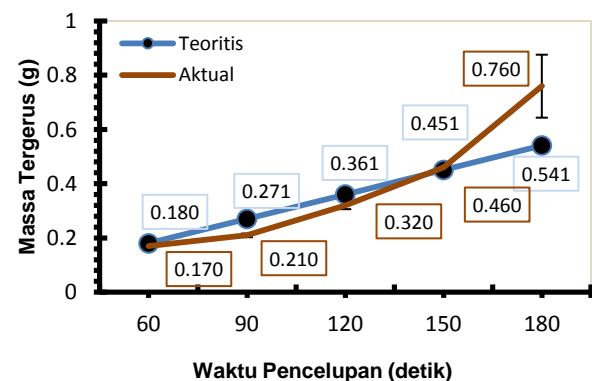
Tabel 4. Hasil massa tergerus teoritis dengan variasi waktu pencelupan

| No. | Waktu pengetsaan | MRR | Laju volume |
|-----|------------------|----------|------------------------|
| | (detik) | (mm/det) | (mm ³ /det) |
| 1 | 2100 | 0,000415 | 0,006239 |
| 2 | 2400 | 0,000415 | 0,006239 |
| 3 | 2700 | 0,000415 | 0,006239 |
| 4 | 3000 | 0,000415 | 0,006239 |
| 5 | 3300 | 0,000415 | 0,006239 |

| Laju massa (gr/det) | Massa yang hilang (gram) |
|---------------------|--------------------------|
| 0,0000501 | 0,180 |
| 0,0000501 | 0,270 |
| 0,0000501 | 0,360 |
| 0,0000501 | 0,450 |
| 0,0000501 | 0,541 |

Perbandingan hasil eksperimen dan perhitungan teoritis

Perbandingan massa yang tergerus teoritis maupun aktual dapat dilihat pada gambar 19. Grafik menunjukkan hubungan antara waktu dengan massa yang tergerus pada proses *electro etching* material kuning. Setiap titik pada grafik proses aktual diambil dari data rata-rata 3 spesimen. Grafik menunjukkan penambahan waktu pencelupan berbanding lurus dengan penambahan material yang tergerus pada proses *electro etching* material kuning. Pada penambahan waktu pencelupan selama 60 menit sampai 180 menit terjadi penambahan massa yang tergerus dari 0,17 gram, 0,27 gram, 0,32 gram, 0,46 gram dan 0,76 gram. Dari data penelitian dengan waktu pencelupan selama 180 menit terdapat perbedaan penggerusan yang paling besar dibandingkan dengan variasi waktu lainnya. Penggerusan pada proses aktual cenderung meningkat bertahap dibandingkan dengan perhitungan teoritis dimana massa yang tergerus mengalami peningkatan secara linier seiring bertambahnya lama waktu pencelupan.

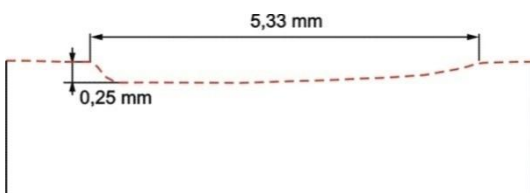
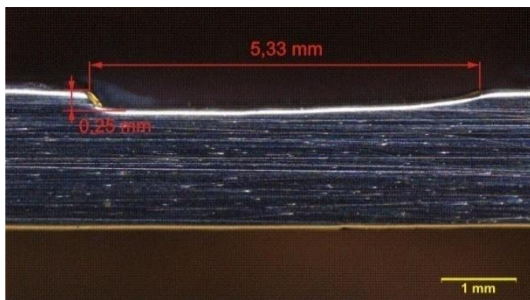


Gambar 19. Perbandingan antara massa yang tergerus teori dan aktual dengan variasi waktu pencelupan proses *electro etching* kuning

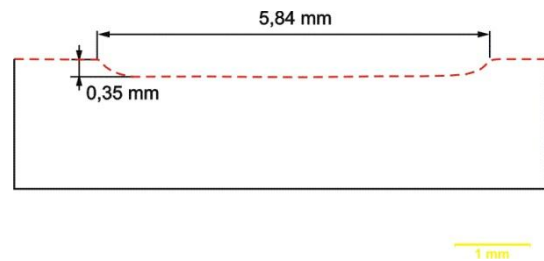
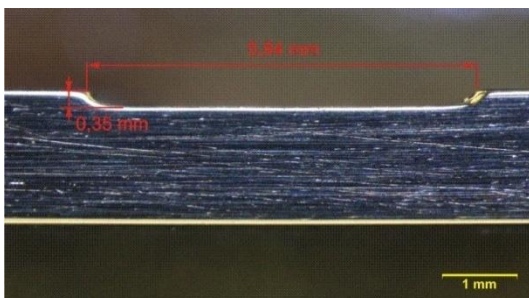
Foto makro profil dinding

a). Profil dinding bawah

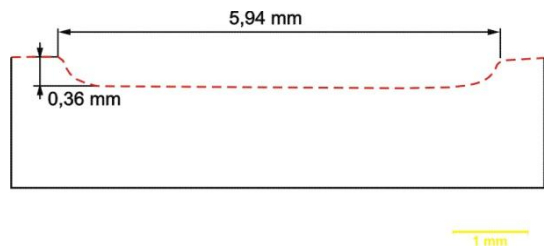
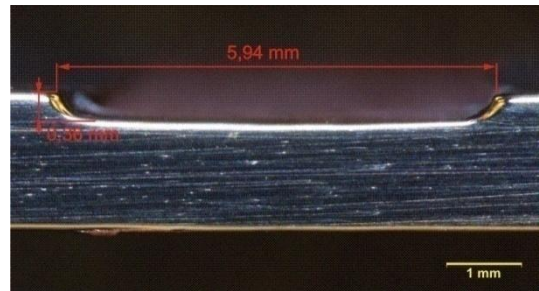
Gambar 20 - 24 menunjukkan foto makro profil dinding bawah hasil pengujian proses *electro etching* material kuningan dengan variasi waktu pencelupan. Dari 15 spesimen diambil 5 spesimen untuk diambil foto makronya. Spesimen tersebut mewakili profil dinding waktu 60, 90, 120, 150 dan 180 menit dimana menghasilkan kedalaman pemakanan 0,25 mm, 0,35 mm, 0,36 mm, 0,38 mm dan 0,88 mm. Dari foto makro dapat ditarik kesimpulan bahwa pertambahan waktu pencelupan akan mengakibatkan bertambahnya kedalaman pemakanan etsanya. Meskipun demikian hasil uji kedalaman pada waktu 180 menit tidak linier.



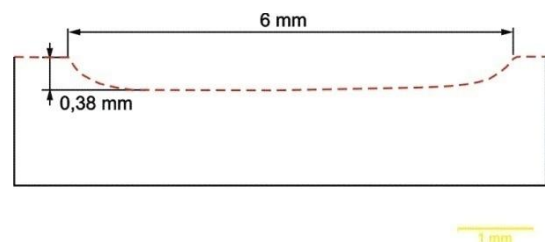
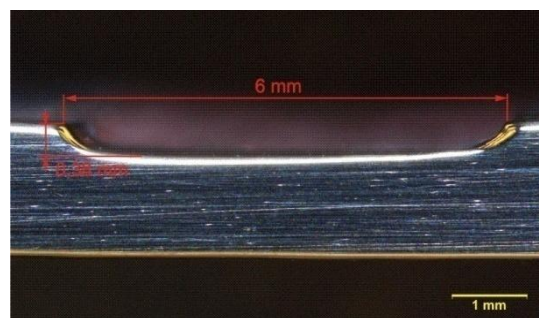
Gambar 20. Foto makro profil dinding bawah dengan waktu pencelupan 60 menit



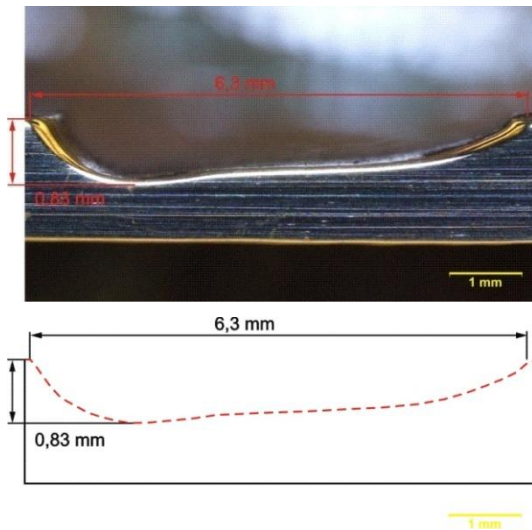
Gambar 21. Foto makro profil dinding bawah dengan waktu pencelupan 90 menit



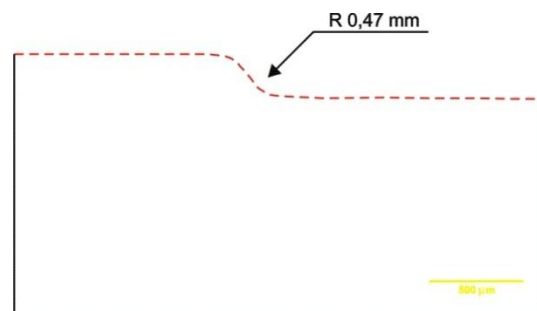
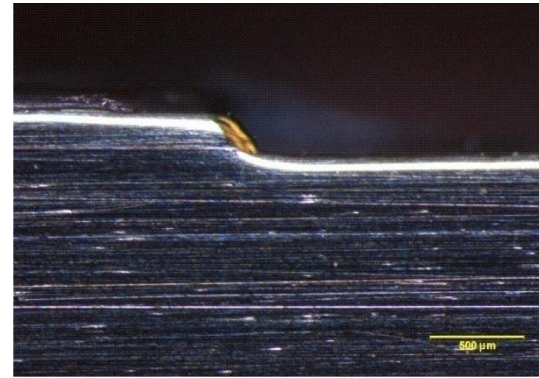
Gambar 22. Foto makro profil dinding bawah dengan waktu pencelupan 120 menit



Gambar 23. Foto makro profil dinding bawah dengan waktu pencelupan 150 menit



Gambar 24. Foto makro profil dinding bawah dengan waktu pencelupan 180 menit

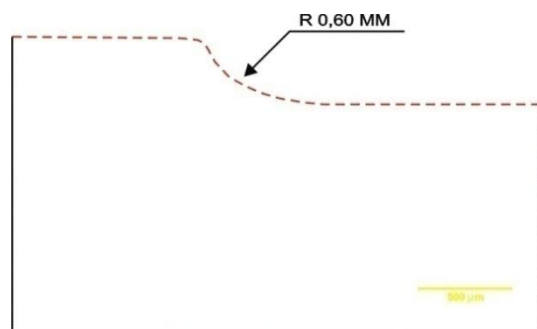
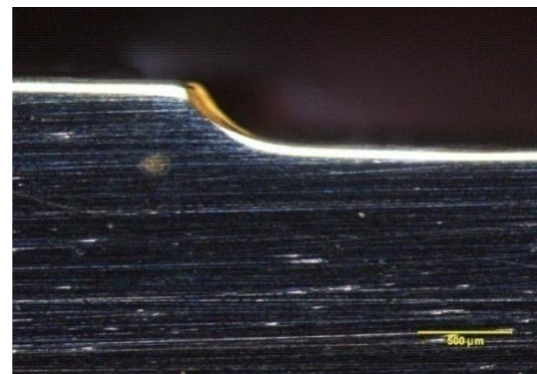


Gambar 25. Foto makro profil dinding samping dengan waktu celup 60 menit

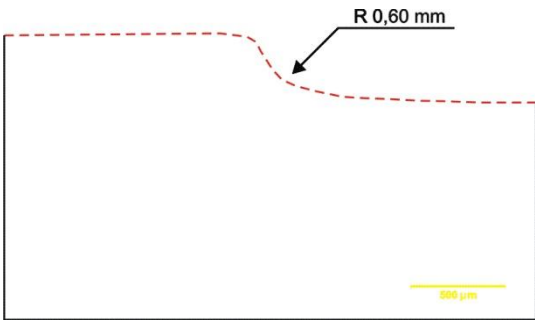
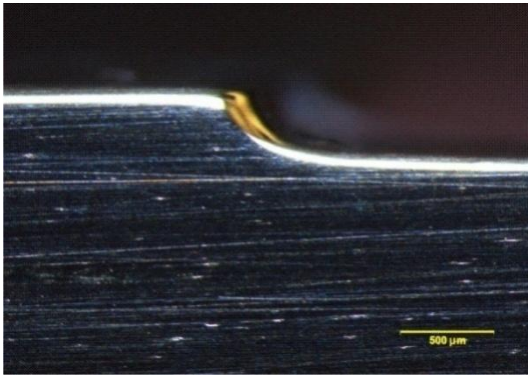
b). Profil dinding samping

Gambar 25 - 29 menunjukkan profil dinding samping hasil proses *electro etching* dengan variasi waktu pencelupan 60, 90, 120, 150 dan 180 menit. Berdasarkan hasil foto makro untuk semua waktu maka diperoleh data berikut:

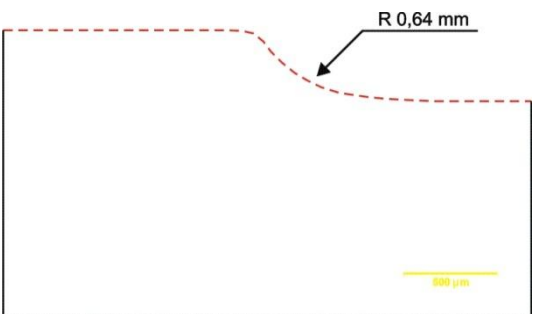
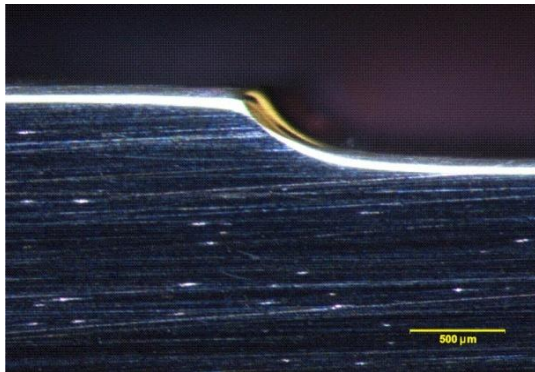
- Pemakanan ke arah samping tidak lurus, tetapi membentuk profil lengkung.
- Terjadi *undercut*, yaitu pemakanan dinding samping di bawah *resist*. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya sebagaimana penelitian (Pennathur, 2010).
- Pemakanan ke dinding bawah dan samping bersifat isotropik, yaitu kedalaman pemakanan secara vertikal dan horizontal cenderung tidak seragam. Hal ini sesuai dengan penelitian (Nathan, 2005) yang menyebutkan bahwasanya proses *wet etching* cenderung isotropik.



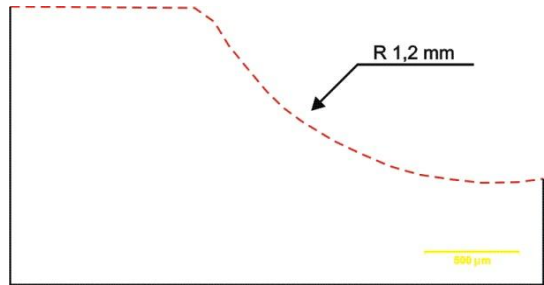
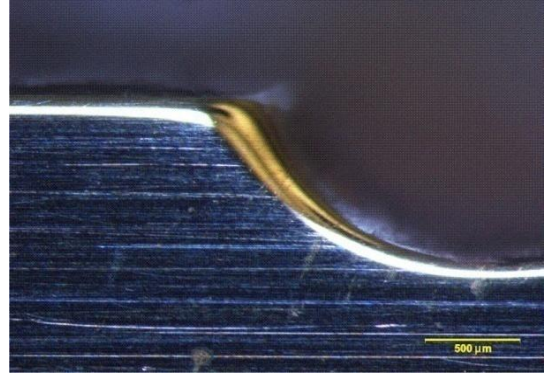
Gambar 26. Foto makro profil dinding samping dengan waktu celup 90 menit



Gambar 27. Foto makro profil dinding samping dengan waktu celup 120 menit



Gambar 28. Foto makro profil dinding samping dengan waktu celup 150 menit



Gambar 29. Foto makro profil dinding samping dengan waktu celup 180 menit

Variasi Komposisi Larutan

Penelitian *electro etching* dengan variasi komposisi larutan menggunakan 5 variasi yaitu 6.67, 8.33, 10, 11.67 dan 13.33 %. Masing-masing kondisi dilakukan 3 kali penelitian. Hasil lengkap perhitungan untuk variasi komposisi larutan dapat dilihat pada Tabel 5 berikut:

Tabel 5. Data massa tergerus aktual dengan variasi komposisi larutan

| No | Arus | Komposisi etchant | Waktu celup (menit) | Rata-rata massa tergerus (gr) |
|----|------|-------------------|---------------------|-------------------------------|
| | (A) | (%) | | |
| 1 | 0,3 | 6,67 | 120 | 0,27 |
| 2 | 0,3 | 8,33 | 120 | 0,32 |
| 3 | 0,3 | 10 | 120 | 0,36 |
| 4 | 0,3 | 11,67 | 120 | 0,44 |
| 5 | 0,3 | 13,33 | 120 | 0,48 |

Perhitungan komposisi larutan

Perhitungan pengaruh komposisi larutan terhadap MRR tidak

bisa dilakukan karena belum diketahui teori yang menjelaskan rumusnya. Tetapi konsentrasi larutan mungkin dapat dikaitkan dengan rapat arus yang kemudian akan mempengaruhi arus yang mengalir. Meskipun demikian, perhitungan masih dapat dilakukan terhadap konsentrasi dari komposisi larutan dengan variasi campuran sebagai berikut:

$$\text{Konsentrasi larutan} = \frac{\text{mol zat terlarut}}{\text{volume pelarut}}$$

Dimana:

Mol zat terlarut = *ferric chloride*

Volume larutan = volume *aquadest*

Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 6. berikut:

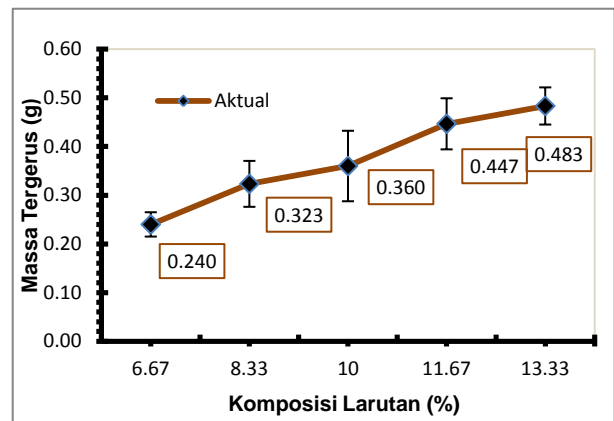
Tabel 6. Konsentrasi larutan dengan variasi komposisi FeCl₃

| Massa FeCl ₃ (gram) | Volume Aquades (liter) | Konsentrasi larutan (mol/lit) |
|--------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| 20 | 0,280 | 0,440509 |
| 25 | 0,275 | 0,560648 |
| 30 | 0,270 | 0,685237 |
| 35 | 0,265 | 0,814526 |
| 40 | 0,260 | 0,948789 |

Perbandingan hasil eksperimen antara komposisi larutan terhadap massa yang tergerus

Perbandingan hasil eksperimen antara komposisi larutan terhadap massa yang tergerus dapat dilihat pada gambar 30. Grafik menunjukkan hubungan antara komposisi larutan terhadap massa yang tergerus pada proses *electro etching* material kuningan. Setiap titik pada grafik proses aktual diambil dari data rata-rata 3 spesimen. Grafik menunjukkan bahwa penambahan komposisi larutan berbanding lurus dengan penambahan

massa material yang tergerus. Pada penambahan komposisi larutan 6,67 % sampai 13,33 % terjadi penambahan massa yang tergerus dari 0,177 gram, 0,22 gram, 0,327 gram, 0,417 gram dan 0,517 gram. Hasil penelitian dengan komposisi larutan 13,33 % terdapat perbedaan penggerusan yang paling besar dibandingkan dengan variasi komposisi larutan lainnya. Proses aktual cenderung meningkat bertahap dan membentuk kurva dimana titik tertinggi pada komposisi larutan 13,33 % dengan massa yang tergerus sebesar 0,48 gram.



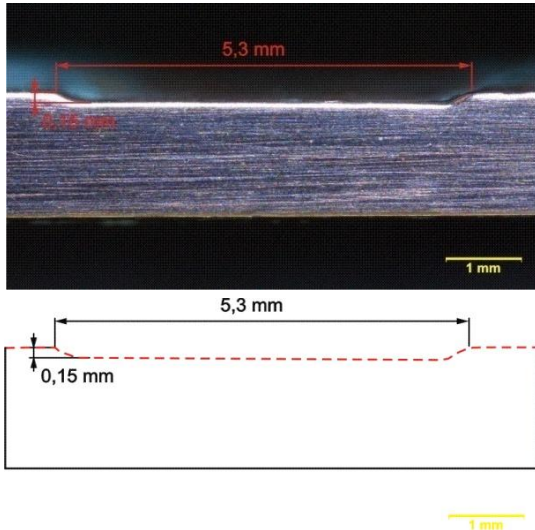
Gambar 30. Perbandingan hasil eksperimen antara komposisi larutan terhadap massa yang tergerus proses *electro etching* kuningan

Foto makro profil dinding

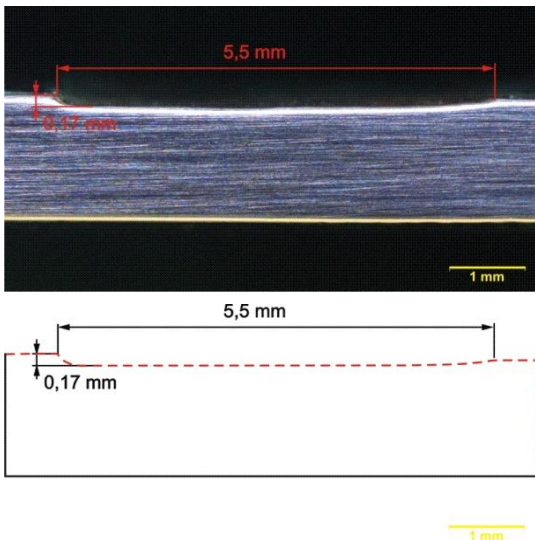
a). Profil dinding bawah

Gambar 31 - 35 menunjukkan foto makro profil dinding bawah hasil pengujian proses *electro etching* material kuningan dengan variasi komposisi larutan. Dari 15 spesimen diambil 5 spesimen untuk diambil foto makronya. Spesimen tersebut mewakili profil dinding dengan komposisi larutan 6.67, 8.33, 10, 11.67 dan 13.33 % dimana menghasilkan kedalaman pemakanan 0,15 mm, 0,17 mm, 0,20 mm, 0,34 mm dan 0,37 mm. Dari foto

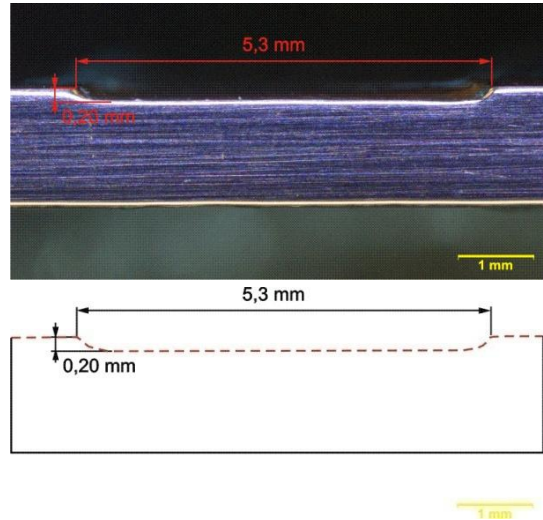
makro dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan komposisi larutan akan mengakibatkan bertambahnya kedalaman pemakanan etsanya. Meskipun demikian hasil uji kedalaman pada komposisi larutan 13,33 % yang tidak linier.



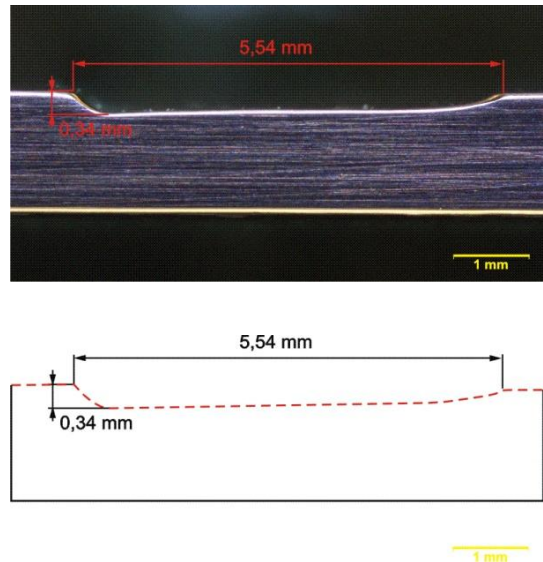
Gambar 31. Foto makro profil dinding bawah dengan komposisi FeCl_3 6,67 %



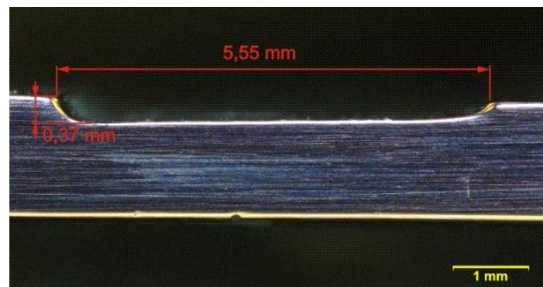
Gambar 32. Foto makro profil dinding bawah dengan komposisi FeCl_3 8,33 %

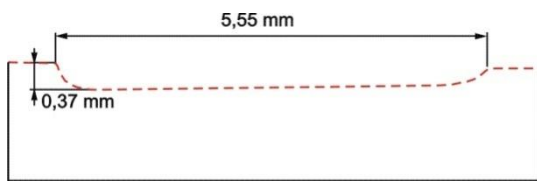


Gambar 33. Foto makro profil dinding bawah dengan komposisi FeCl_3 10 %



Gambar 34. Foto makro profil dinding bawah dengan komposisi FeCl_3 11,67 %



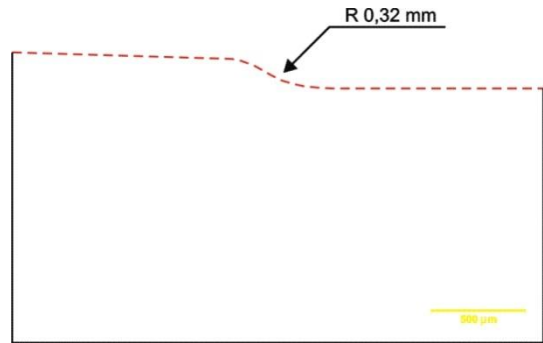
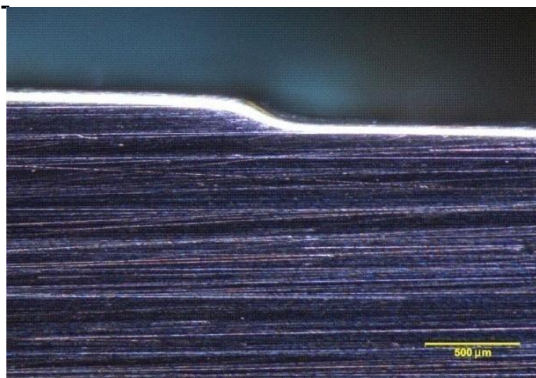


Gambar 35. Foto makro profil dinding bawah dengan komposisi FeCl_3 13,33 %

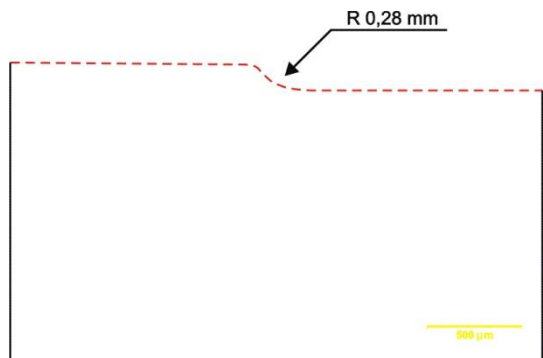
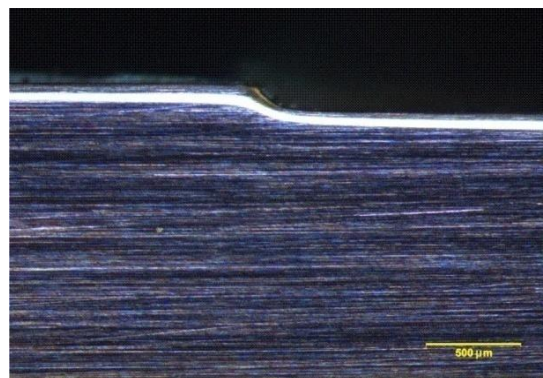
b). Profil dinding samping

Gambar 36 – 40 menunjukkan profil dinding samping hasil proses *electro etching* dengan variasi komposisi larutan 6.67, 8.33, 10, 11.67 dan 13.33 %. Berdasarkan hasil foto makro untuk semua komposisi larutan maka diperoleh data berikut:

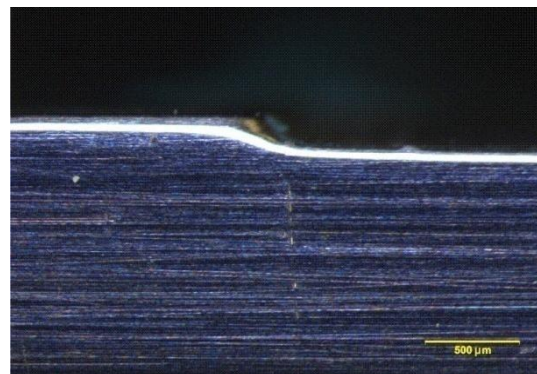
- Pemakanan ke arah samping tidak lurus, tetapi membentuk profil lengkung.
- Terjadi *undercut*, yaitu pemakanan dinding samping di bawah *resist*. Hal ini sesuai dengan penelitian-penelitian sebelumnya sebagaimana penelitian (Pennathur, 2010).
- Pemakanan ke dinding bawah dan samping bersifat isotropik, yaitu kedalaman pemakanan secara vertikal dan horizontal cenderung tidak seragam. Hal ini sesuai dengan penelitian (Nathan, 2005) yang menyebutkan bahwasanya proses *wet etching* cenderung isotropik.

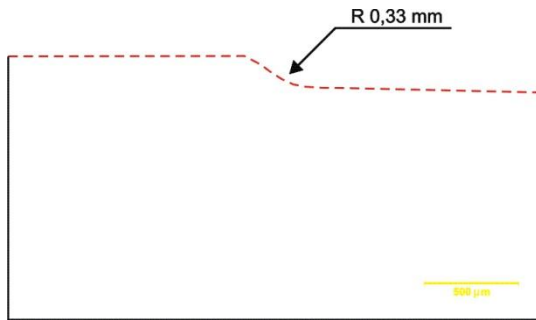


Gambar 36. Foto makro profil dinding samping dengan FeCl_3 6,67 %

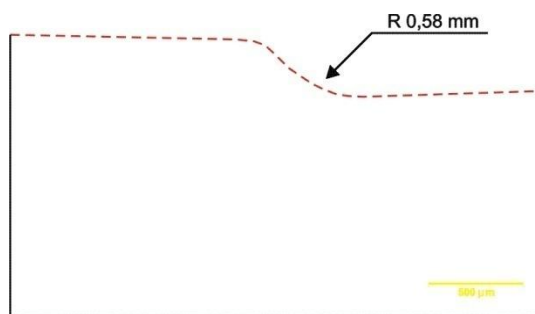
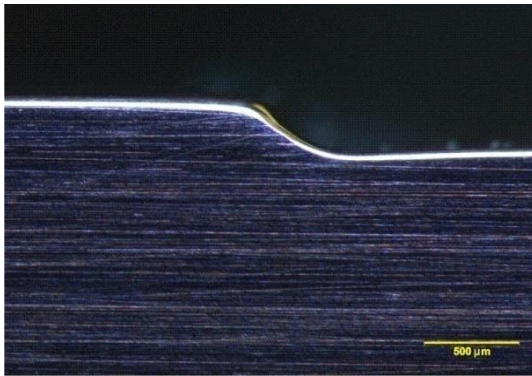


Gambar 37. Foto makro profil dinding samping dengan komposisi FeCl_3 8,33 %

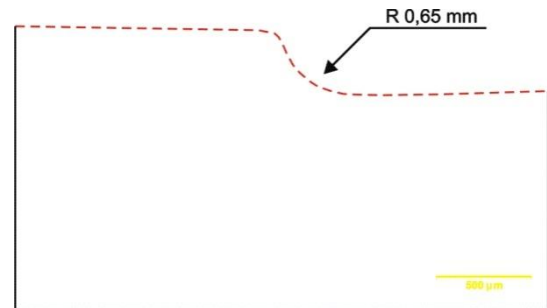
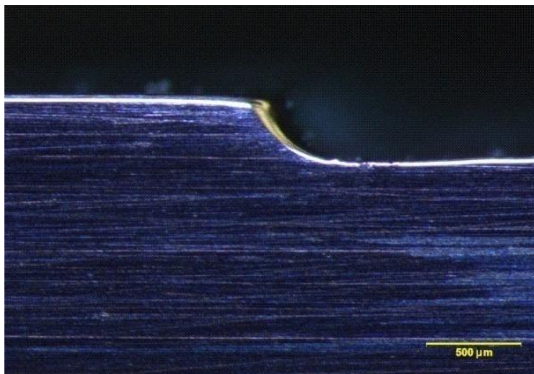




Gambar 38. Foto makro profil dinding samping dengan komposisi FeCl_3 10 %



Gambar 39. Foto makro profil dinding samping dengan komposisi FeCl_3 11,67 %



Gambar 40. Foto makro profil dinding samping dengan komposisi FeCl_3 13,33 %

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pada proses *electro etching* dengan bahan kuningan diperoleh kesimpulan berikut:

1. Variasi arus

- *Material removal rate*

Pada proses *electroetching* dengan variasi arus 0,09 A, 0,12 A, 0,15 A, 0,3 A dan 0,35 A. semakin besar arus yang diberikan, maka massa pelat kuningan yang tergerus semakin besar pula.

- Profil dinding

Profil kedalaman pemakanan bertambah seiring dengan penambahan arus, sedangkan profil dinding samping kecerendungan berbentuk sama yaitu berbentuk radius dan terjadi undercut

2. Variasi waktu pencelupan

- *Material removal rate*

Dengan menggunakan variasi waktu pencelupan 60, 90, 120, 150 dan 180 menit, semakin lama waktu pencelupan makin besar pula massa pelat kuningan yang tergerus dengan membentuk profil dinding yang semakin dalam.

- Profil dinding

Profil dinding samping untuk semua spesimen berbentuk radius dan terjadi *undecut*.

3. Variasi komposisi larutan

- *Material removal rate*
Dengan bertambahnya komposisi FeCl_3 sebesar 6,67, 8,33, 10, 11,7 dan 13,33 % maka massa pelat kuningan yang tergerus akan semakin besar.
- Profil dinding
Penambahan komposisi FeCl_3 akan mengakibatkan perubahan profil dinding yang sama dengan penambahan arus dan waktu pencelupan dan terjadi *under cut*.

Saran

Karena keterbatasan waktu maka dari hasil proses penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa masalah yang belum terselesaikan dan perlu diperhatikan untuk penelitian lanjutan, diantaranya:

1. Untuk pemilihan metode transfer resin yang telah dilakukan adalah dengan metode *photolithography*. Proses ini dilakukan secara manual sehingga hasilnya kurang presisi/akurat dan membutuhkan waktu yang cukup lama. Maka disarankan untuk mencari metode yang lain, misalnya dengan menerapkan proses vakum ketika menempelkan film yang berisi gambar desain. Penggunaan vakum akan meningkatkan keakuratan desain seperti yang dilakukan pada proses percetakan.
2. Untuk penambahan arus pada proses *etching* yang telah dilakukan adalah menggunakan kabel untuk mengalirkan arus dari travo ke plat metal. Cara ini rentan

akan kegagalan disebabkan kabel yang tidak terlindungi dengan baik akan ikut tergerus, sehingga arus berhenti mengalir ke plat. Maka disarankan untuk benar-benar memperhatikan penempelan kabel ke material agar terhindar dari larutan *etchant* atau dengan membentuk kolam larutan *etchant* menggunakan wax untuk menjaga agar larutan tidak menggerus bagian selain bagian yang akan di *etching*.

3. Penggunaan travo untuk variasi arus sebelumnya menggunakan satu travo untuk 5 variasi arus. Cara ini kurang efektif dikarenakan besarnya arus yang dialirkan kurang sesuai dengan besaran yang diharapkan. Maka disarankan sebaiknya satu variasi penelitian menggunakan satu travo.
4. Peletakan material pada box saat proses *etching* sebelumnya sangat sulit untuk sejajar dengan permukaan air dikarenakan kabel arus pada bagian bawah plat mengganggu. Maka disarankan untuk menggunakan penjepit anti korosi.
5. Pada saat proses *electro etching*, temperatur cairan bertambah tinggi. Hal ini dikarenakan reaksi kimia yang terjadi pada larutan. Kenaikan temperatur ini menyebabkan terjadinya gelembung udara, dimana makin tinggi temperatur makin banyak gelembungnya. Penelitian lanjutan untuk mengetahui efek temperatur dan efek media penggunaan pendinginan terhadap kecepatan pemakanan bahan sangat disarankan.

6. Proses *electro etching* yang dilakukan ini termasuk proses basah yang menggunakan larutan. Proses *etching* basah berakibat terjadinya kekurangan presisian pada pemakanannya yang berbentuk profil dinding samping dan bawah tidak sama atau membentuk profil radius. Penelitian lanjutan sangat disarankan dengan menggunakan proses kering yaitu dengan proses *etching* kering menggunakan plasma. Menurut literatur dapat menghasilkan profil dinding yang seragam.

DAFTAR PUSTAKA

- Cakir, O., Temel, H., and Kiyak, M. 2005. *Chemical etching of Cu-ETP copper.*, hal.162-163, 275–279.
- Clearfield, A., Wang, Z., and Bellinghausen, P. 2002. *Highly porous zirconium aryldiphosphonates and their conversion to strong bronsted acids.* hal.167, 376–385.
- Chemcut bulletin. 2015. *Proses Guidelines For Cupric Chloride Etching.*“Chemcut, maret 2015”, Hal 5 - 6
- Datta, Madhav. 2002. *electromachining by electrochemical dissolution.*Joseph McGeough international Book Company, New york.
- Henry, B., and Rawdon, S. 1920. *on thermal radiophonic signalling apparatus.*, hal. 398.
- Huang, Y. J., and Yates, M. Z. 2006. *Copper etching by water-in-oil microemulsions. Colloids and Surfaces.*Physicochemical and Engineering Aspects, hal.281, 215–220.
- <http://kuningan-foil.blogspot.com/2013/09/pengertian-kuningan.html/m=1>, diakses pada tanggal 5 november 2014.
- McGeough, Joseph. 2002. *Micromachining of Engineering materials*
- Mamilla, V. R., and Chakradhar, K. S. 2014. Micro Machining for Micro Electro Mechanical Systems (MEMS). *Procedia Materials Science* , hal.1170–1177.
- Nathan, A. 2005. applications , diagnostics and end point detection , challenges in dry etching mechanisms , dielectric CMP , metal CMP , commercial CMP tools , endpoint detection , pads , slurry , post CMP cleaning , CMP issues.
- Sumita Pennathur. 2010. *Introduction to MEMS and MEMS desain.*“UCSB nano lab, 14 october 2010”, hal 7.Di akses 1 juni 2015 dari ucsb.edu. www.engginering.ucsb.edu/~sumita/courses/courses/ME141B/ME141B_lecture_5_F10.pdf.