

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian tentang *Electrochemical Machining* (ECM) dimaksudkan untuk menganalisa tentang pengaruh tegangan yang dihasilkan saat proses pemesinan terhadap benda kerja *non masking* dan benda kerja *masking* menggunakan *tool* elektroda kuningan berlubang. Berikut tinjauan pustaka dari beberapa hasil penelitian yang sudah dilakukan :

Dari percobaan yang dilakukan Septiaji, (2016) menganalisis tentang pengaruh tegangan terhadap MRR, *overcut* dan ketirusan menggunakan *tool* terisolasi diketahui bahwa pada saat proses pemesinan semakin lama, maka arus yang dihasilkan semakin turun, karena saat benda kerja berlubang tidak ada kontak antara *tool* dengan benda kerja. Sedangkan nilai MRR sangat berpengaruh dengan variasi tegangan dan jarak celah (*gap*) elektroda dengan benda kerja. Tingkatan tegangannya adalah 7, 10, 13 volt dan *gap* 0,5, 0,75, 1 mm. Untuk nilai *overcut* semakin besar *gap* dan tegangan sangat berpengaruh terhadap luas area *overcut*, saat *tool* bergerak turun, *tool* tersebut sudah mengeluarkan arus sehingga permukaan benda kerja terkikis pada saat *tool* bergerak turun. Untuk hasil perhitungan MRR pada *gap* 0,5 nilai MRR tertinggi terletak pada tegangan 13v sebesar $0,718 \times 10^{-7} \text{ mm}^3/\text{s}$. Pada *overcut* hasil ukuran tertinggi terletak pada variasi tegangan 13v yaitu sebesar 1,19 mm. Disimpulkan bahwa semakin besar tegangan yang dialirkan pada saat proses pemesinan maka nilai MRR dan *overcut* yang terjadi akan menjadi semakin besar.

Pada percobaan Rokin, (2016) menganalisa tentang pengaruh tegangan dan jarak celah (*gap*) dengan *tool* tidak terisolasi adalah nilai MRR yaitu semakin besar jarak celah (*gap*) maka semakin besar MRR yang terjadi, begitupun juga variasi tegangan, semakin besar tegangan yang dialirkan semakin besar juga MRR yang dihasilkan. Untuk nilai *overcut* pengaruhnya sama dengan hasil MRR, semakin besar *gap* dan tegangan, maka semakin besar *overcut* yang terjadi.

Pada nilai ketirusan diketahui semakin besar (*gap*) dan tegangan akan membuat arus yang mengalir menyebar ke samping permukaan material semakin besar dan hasil pemesinan yang tidak merata, sehingga hasil ketirusan akan berbeda dan pemakanan cenderung lebih banyak pada benda kerja yang tidak terisolasi. Nilai MRR tertinggi terletak pada variasi tegangan 13v yaitu sebesar $13,01 \times 10^{-4}$ gr/s. Untuk *overcut* nilai tertinggi pada variasi yang sama yaitu 13 volt dengan ukuran *overcut* sebesar 2,11 mm. Pada penelitian ini menggunakan elektroda kuningan tidak terisolasi.

Widyargo, (2017) menganalisis pada variabel tegangan pada *tool* berpola dan *tool* tidak berpola yaitu semakin tinggi tegangan yang dihasilkan maka semakin tinggi pula MRR yang terjadi, berbeda dengan variabel *gap* pemesinan, semakin kecil *gap* atau semakin dekat *tool* dengan benda kerja, maka MRR yang dihasilkan akan semakin kecil. Dari keterangan grafik diatas dapat disimpulkan bahwa nilai MRR hasil pemesinan ECM *tool* tidak berpola lebih tinggi dari *tool* berpola. Nilai MRR hasil pemesinan ECM *tool* tidak berpola lebih tinggi dari *tool* berpola. Untuk nilai MRR pada konsentrasi elektrolit 15% (w/v) dengan tegangan 13v dan *gap* pemesinan 0,5 mm yaitu sebesar 5,2333 g/s, diikuti dengan konsentrasi elektrolit sebesar 20% (w/v), tegangan 13 volt dan *gap* pemesinan 0,75 mm nilai MRRnya adalah sebesar 5,4617 gr/s. Kedua nilai MRR tersebut menggunakan *tool* kuningan tidak berpola dengan benda kerja *stainless steel* 316.

Hasil penelitian yang dilakukan Ayubi, (2017) dengan menggunakan *tool* berpola menyatakan bahwa semakin besar tegangan yang disuplai maka arus yang dihasilkan juga semakin besar. Besarnya arus yang dihasilkan juga sangat mempengaruhi waktu pemesinan, karena arus yang dihasilkan pada awal pemesinan lebih besar dari arus yang terjadi saat akhir pemesinan. Nilai MRR dipengaruhi oleh tegangan dan konsentrasi elektrolit, semakin besar variasi yang diberikan semakin besar MRR yang terjadi. Dari hasil *overcut* diketahui konsentrasi elektrolit dan tegangan sangat berpengaruh pada nilai *overcut* yang dihasilkan saat proses pemesinan ECM.

Penelitian yang dilakukan Sudiarso dkk, (2013) yaitu tentang perbedaan hasil *overcut* dan ketirusan menggunakan dua elektroda kuningan pejal menyimpulkan bahwa dengan tegangan sebesar 15 *volt* hasil nilai *overcut* dengan elektroda 2 mm adalah 0,33 mm dan elektroda 6 mm yaitu sebesar 0,86 mm, dikarenakan semakin besar ukuran *tool* elektroda akan membuat arus semakin menyebar lebih besar ke seluruh sisi dari *tool* elektroda. Untuk hasil dari ketirusan *stainless steel* yaitu ketirusan yang lebih besar terletak pada elektroda 6 mm yaitu sebesar 46° dan sudut yang dihasilkan pada elektroda 2 mm adalah 43°. Sedangkan pada material aluminium ketirusan yang dihasilkan adalah 42° menggunakan *tool* elektroda 2 mm dan 43° menggunakan *tool* elektroda 6 mm.

Adi, (2015) menganalisa menggunakan *tool* berlubang pada pembuatan *microfilters* menyimpulkan bahwa semakin besar tegangan dan konsentrasi elektrolit yang digunakan, respon nilai MRR akan menjadi lebih besar, untuk *gap* pemesinan semakin kecil ukuran *gap* pada *tool* dengan benda kerja maka MRR akan menjadi semakin tinggi, karena membuat loncatan arus menjadi besar yang dibantu laju aliran elektrolit dari dalam *tool* yang menyebabkan proses *flushing* menjadi tinggi. Untuk nilai *overcut* yang terjadi semakin besar tegangan dan konsentrasi elektrolit yang digunakan pada pemesinan maka semakin besar nilai *overcut* nya dan *gap* yang kecil akan menimbulkan *overcut* yang lebih besar, tetapi pada pemesinan diharapkan hasil pemesinan mendapatkan hasil *overcut* yang lebih kecil agar ukuran hasil pemesinan menjadi lebih akurat.

Sumardi, (2016) meneliti tentang respon MRR, *overcut* dan ketirusan dengan bahan SS 304 menggunakan *tool* elektroda tidak terisolasi hasilnya yaitu semakin besar tegangan dan jarak celah (*gap*) maka nilai MRR akan menjadi besar karena semakin besar tegangan menyebabkan pengikisan benda kerja menjadi lebih besar, untuk *overcut* semakin besar tegangan yang dialirkan maka nilai *overcut* menjadi lebih besar. Pada hasil ketirusan tegangan berdampak pada membesarnya nilai ketirusan dan semakin besar *gap* mengakibatkan hasil pemesinan tidak merata karena arus yang menyebar ke permukaan material.

Eksperimen yang dilakukan Wahyudi, (2010) yaitu dalam pembuatan *microchamber* menggunakan *tool* elektroda terisolasi dan tidak terisolasi menyimpulkan semakin besar tegangan pada *tool* tidak terisolasi nilai *overcut* menjadi lebih besar, karena arusnya lebih menyebar dan berbanding terbalik pada *tool* terisolasi, semakin besar tegangan yang dialirkan maka nilai *overcut* menjadi lebih akurat atau lebih kecil dikarenakan aliran arusnya lebih terfokus pada titik pusat permukaan *tool*. Pada hasil nilai respon nilai MRR yang terjadi *tool* terisolasi MRR lebih kecil dibandingkan *tool* tanpa isolasi, dikarenakan pemakanan dibatasi oleh isolasi pada *tool* yang menyebabkan pengikisan pada benda kerja lebih sedikit dan terfokus. Pada fenomena hasil nilai ketirusan sama dengan nilai *overcut*, *tool* tidak terisolasi berbanding terbalik dengan *tool* terisolasi.

Beberapa hasil kajian pustaka yang telah dikutip diambil kesimpulan sebagai berikut :

Menggunakan *tool* pejal kuningan hasilnya yaitu semakin besar jarak celah (*gap*) dan tegangan maka nilai MRR, *overcut* dan menjadi tinggi, hasil perhitungan MRR pada *gap* 0,5 nilai MRR tertinggi terletak pada tegangan 13v sebesar $0,718 \times 10^{-7} \text{ mm}^3/\text{s}$ dan *overcut* hasil ukuran tertinggi terletak pada variasi tegangan 13v yaitu sebesar 1,19 mm (Septiaji, 2016). Semakin besar jarak celah (*gap*) maka semakin besar MRR yang terjadi, juga variasi tegangan, semakin besar tegangan yang dialirkan semakin besar MRR. Semakin besar *gap* dan tegangan, maka semakin besar *overcut* yang terjadi. *Tool* yang digunakan adalah elektroda kuningan tidak terisolasi (Rokin, 2016).

Tegangan, konsentrasi elektrolit dan jarak celah (*gap*) yang semakin besar akan membuat nilai MRR dan *overcut* menjadi besar pada pembuatan *microchamber*. *Tool* tidak berpola hasilnya lebih besar daripada *tool* tidak berpola (Widyargo, 2017). Semakin besar tegangan yang disuplai maka arus yang dihasilkan juga semakin besar. MRR dipengaruhi oleh tegangan dan konsentrasi elektrolit, semakin besar variasi yang diberikan semakin besar MRR yang terjadi. (Ayubi, 2017).

Semakin besar ukuran *tool* elektroda akan membuat penyebaran arus menjadi lebih besar yang menyebabkan *overcut* dan ketirusan lebih besar (Sudiarso dkk, 2013). Semakin besar tegangan dan konsentrasi elektrolit yang digunakan pada *tool* elektroda berlubang, nilai MRR dan *overcut* akan menjadi lebih besar dan *gap* pemesinan semakin kecil ukuran *gap* pada *tool* dengan benda kerja maka MRR akan menjadi semakin tinggi karena kecilnya *gap* membuat loncatan arus menjadi tinggi yang dibantu laju aliran elektrolit dari dalam *tool* yang menyebabkan proses *flushing* menjadi tinggi (Adi, 2015).

Besarnya tegangan dan jarak celah (*gap*) maka nilai MRR akan menjadi besar karena semakin besar tegangan menyebabkan pengikisan benda kerja menjadi lebih besar, tetapi semakin besar *gap* mengakibatkan hasil ketirusan lebih besar karena loncatan arus tidak merata ke permukaan material (Sumardi, 2015).

Semakin besar tegangan maka nilai *overcut* menjadi lebih besar pada *tool* tidak terisolasi karena arusnya lebih terfokus, Sedangkan pada penggunaan *tool* terisolasi semakin besar tegangan maka nilai *overcut* menjadi semakin lebih kecil dan lebih akurat dikarenakan arusnya terfokus pada pusat permukaan *tool* (Wahyudi, 2010).

Dari beberapa hasil kesimpulan kajian pustaka diatas disimpulkan bahwa faktor utama dari proses pemesinan *electrochemical machining* yaitu besar tegangan yang digunakan, konsentrasi larutan elektrolit, jarak celah (*gap*) *tool* dengan benda kerja dan arus yang dialirkan pada proses pemesinan. Besarnya tegangan dan konsentrasi elektrolit berbanding lurus dengan hasil nilai MRR dan *overcut* yang terjadi, tetapi pada jarak celah (*gap*) berbanding terbalik dengan MRR dan *overcut*, dikarenakan *flushing* yang tinggi karena aliran elektrolit yang lewat dari dalam *tool*. Pada penelitian ini untuk mengetahui pengaruh tegangan pada hasil respon MRR, *overcut* dan ketirusan yang terjadi pada benda kerja *masking* dan *non masking*. *Tool* elektroda yang dipakai menggunakan *tool* kuningan berlubang agar aliran dari elektrolit terfokus pada benda kerja yang akan dilakukan proses pemesinan.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 *Electrochemical Machining*

Electrochemical Machining (ECM) adalah salah satu mesin non konvensional yang proses pemesinannya menggunakan cairan elektrolit sebagai medianya dan arus listrik DC sebagai aliran listriknya. Seperti pernyataan (Tlustý, 2000) prinsip dasar ECM adalah proses dari *anodic dissolution* dalam penguraian suatu larutan elektrolit yang dialiri oleh arus listrik (elektrolisis). Mengacu pada hukum Faraday (1833), yaitu dua buah logam elektroda yang direndam dengan larutan elektrolit lalu partikel pada *anode* akan terkikis dan menempel ke *cathode*. Dari keterangan (McGeough, 1988) ECM adalah proses pemesinan yang cara kerjanya mengikis/ menghilangkan atom pada permukaan benda kerja. Pengikisan atom ini dinamakan *Material Remove Rate* (MRR) karena permukaan benda kerja mengikuti bentuk dan gerakan *tool* terhadap benda kerja. Nilai MRR juga dipengaruhi oleh kerapatan arus dan ukuran *gap* elektroda dengan benda kerja. Apabila suplai aliran arus yang tinggi akan menghasilkan MRR yang tinggi.

Proses pemesinan ECM memanfaatkan energi listrik dan larutan elektrolit sebagai cara kerjanya karena *tool* elektroda sebagai *anode* dan benda kerja sebagai *cathode* yang keduanya mempunyai sifat konduktor. Contohnya adalah proses *electroplating* dan *electropolishing* yang disebut proses elektrolisis yaitu proses kimia dimana terjadi arus listrik melewati dua buah elektroda yang telah terbenam oleh larutan elektrolit. Larutan elektrolit yang digunakan pada penelitian ini menggunakan larutan NaCl, karena cairan ini digunakan untuk media pengkorosifan yang efektif untuk benda kerja, disamping itu NaCl adalah bahan yang ramah lingkungan, tidak berbahaya, tidak beracun dan mudah didapatkan.

Beberapa kelebihan yang dimiliki mesin ECM adalah sebagai berikut :

1. Tidak ada kontak antara *tool* elektroda dan benda kerja, sehingga pahat tidak mudah aus.
2. Hasil permukaan setelah proses pemesinan relatif halus.
3. Elektroda maupun benda kerja terhindar dari panas karena telah disemprot dengan larutan NaCl.

4. Mampu mengerjakan benda kerja yang memerlukan bentuk sangat kompleks.
5. Mampu melakukan proses pemesinan dengan material yang sangat keras.
6. Waktu yang dibutuhkan mesin ECM lebih cepat dibandingkan mesin konvensional.
7. Pada proses pemesinan tidak mengeluarkan suara, dikarenakan tidak ada *cutting force* dan elektroda tidak menyentuh benda kerja.
8. Bisa digunakan untuk pemotongan benda kerja dengan ukuran yang sangat kecil dan sudut yang kecil.
9. Larutan elektrolit yang digunakan selain untuk mengkorosifkan benda kerja juga bisa menjadi pendingin.

Adapun kekurangan yang dimiliki oleh mesin ECM, antara lain :

1. Membutuhkan konsumsi energi yang cukup besar.
2. Perancangan mesin ECM yang cukup rumit.
3. Banyaknya pengikisan benda kerja tergantung daya yang digunakan pada pemesinan.
4. Elektrolit yang digunakan selain untuk mengkorosifkan benda kerja, bisa juga mengkorosifkan elektroda jika perawatannya kurang baik.

2.2.2. Prinsip kerja *Electro Chemical Machining (ECM)*

Apabila dua buah logam elektroda yang direndam dengan larutan elektrolit dan telah dialiri arus listrik DC, lalu akan terjadi proses elektrolisis. Setelah itu partikel – partikel *anode* akan terkikis dan berpindah ke *cathode*. Dasar dari proses pemesinan ECM adalah *anodic dissolution* yang terjadi pada benda kerja. Proses elektrolisis dinyatakan dalam hukum Faraday adalah sebagai berikut :

1. Jumlah massa yang hilang pada proses pemesinan, m , juga berbanding lurus dengan jumlah muatan listrik.

$$m = l \cdot t \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

2. Jumlah substansi yang dihilangkan, m , dengan kualitas elektrisitas yang berbanding lurus dengan berat kimia ekuivalen substansi tersebut.

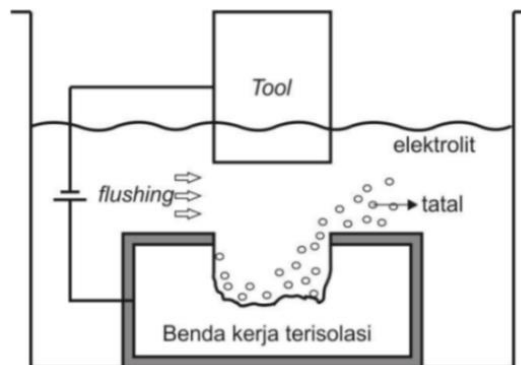
$$m = E \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

$$E = \frac{M}{Z} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

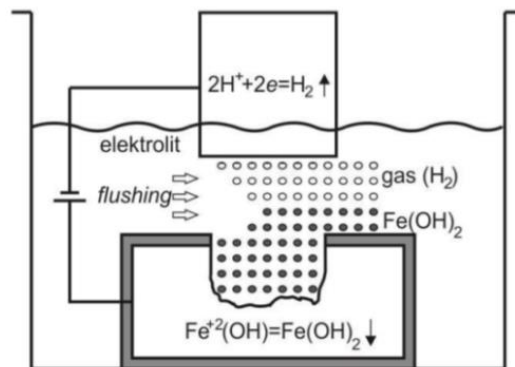
- I : arus listrik (A)
 m : massa benda kerja (g)
 t : waktu proses pemesinan (s)
 E : berat kimia ekuivalen
 M : berat atom (g)
 Z : valensi benda kerja

Prinsip kerja mesin ECM adalah pengerjaan material dengan cara *anodic dissolution* (pelarutan anodis) dari material benda kerja oleh cairan elektrolit yang mengalir melewati *gap* antara elektroda (*cathode*) dengan benda kerja (*anode*). Pada proses ini benda kerja sebagai *anode* yang dihubungkan sumber arus DC positif (DC+), sedangkan pada *tool* elektroda (*cathode*) dihubungkan sumber arus DC negatif (DC-) dan cairan elektrolit dilewatkan antara elektroda dan benda kerja. Prinsip kerja mesin ECM ditunjukkan pada gambar 2.1



Gambar 2.1. Prinsip kerja mesin ECM (McGeough, 1988)

Pernyataan McGeough (1988) adalah ketika penerapan beda potensial pada elektroda, maka akan terjadi kemungkinan reaksi yang terjadi pada proses pemesinan yaitu benda kerja dan elektroda (*anode* dan *cathode*). Reaksi dari proses pemesinan ECM ditunjukkan pada gambar 2.2.



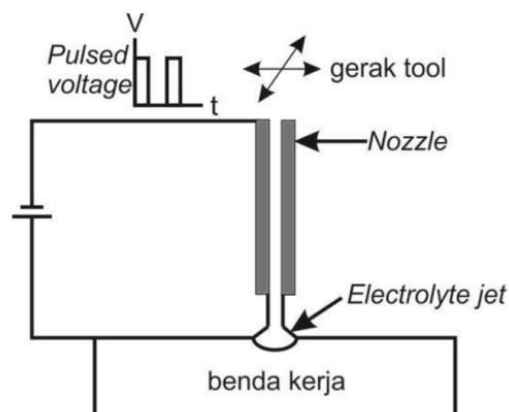
Gambar 2.2. Reaksi proses pemesinan ECM pada material besi (McGeough, 1988)

2.2.3. Jenis – jenis mesin *Electrochemical Machining* (ECM)

Adapun beberapa jenis mesin *electrochemical machining* menurut kebutuhan pemesinan yang diperlukan, antara lain :

2.2.3.1 *Micro-ECM*

Mesin *electrochemical machining* termasuk kategori proses pemesinan dengan akurasi yang rendah, itu karena jarak elektroda (*gap*) dengan benda kerja terlalu lebar daripada mesin konvensional lainnya. *Micro-ECM* ditunjukkan pada gambar 2.3.

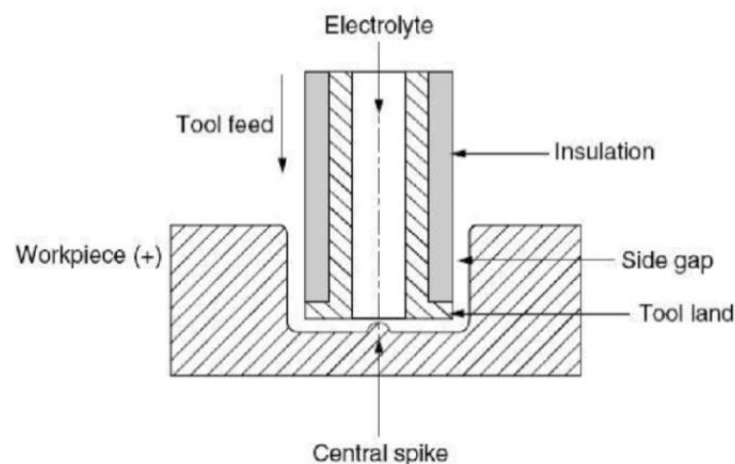


Gambar 2.3. *Electrolyte jet* (El-Hofy, 2005)

Pada mesin *micro*-ECM menggunakan *tool* mikro sebagai *electrolit jet*, dimana pergerakan dari benda kerja terhadap *tool*-nya. Mesin *micro*-ECM menggunakan *pulse current* (arus kontak) karena dapat menghasilkan cekungan kecil pada saat proses pemesinan.

2.2.3.2 *Electro Chemical Drilling (ECDR)*

Mesin *Electro Chemical Drilling* menggunakan *tool* elektroda yang berlubang atau berbentuk pipa (*tubular*). Ukuran diameter lubangnya berkisar antara 1 sampai 2 mm dan laju pemakanan mesin ini 1 sampai 5 mm/menit. Lubang pada elektroda berfungsi sebagai jalur keluar cairan elektrolit. *Electro Chemical Drilling* ditunjukkan pada gambar 2.4.

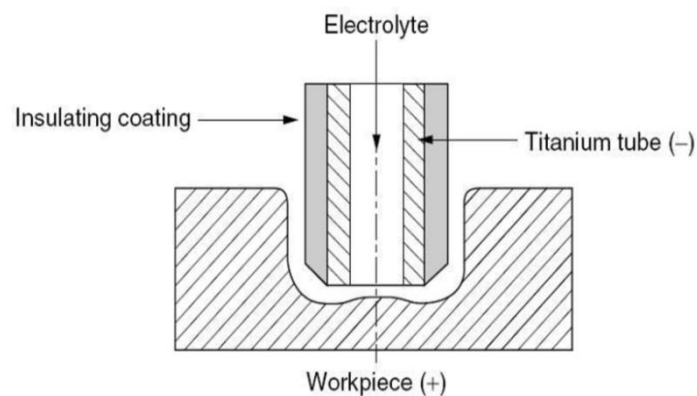


Gambar 2.4. Konfigurasi *Electro Chemical Drilling* (El-Hofy, 2005)

Pada keterangan gambar diatas menjelaskan proses pemakanan pada mesin *Electro Chemical Drilling* terjadi ke arah lateral yaitu antara permukaan benda kerja dan permukaan samping *tool* sehingga hasil dari diameter lubang benda kerja lebih besar daripada diameter *tool*. Apabila kebutuhan benda kerja ingin membutuhkan *oversize* diameter yang rendah dan juga akurasi yang tinggi disarankan laju pemakanan yang digunakan juga harus tinggi, sehingga dengan kondisi yang sama hasil dari MRR dan *surface roughness* pun jadi lebih tinggi.

2.2.3.3 *Shaped Tube Electrolytic Machining (STEM)*

Prinsip dasar dari *Shaped Tube Electrolytic Machining* adalah adanya proses disolusi karena perbedaan tegangan listrik antara *tool* dengan benda kerja. Pada elektroda dan cairan elektrolit terdapat medan listrik yang menyebabkan terjadinya proses penghapusan benda kerja pada permukaannya. Skema dari STEM ditunjukkan pada gambar 2.5.

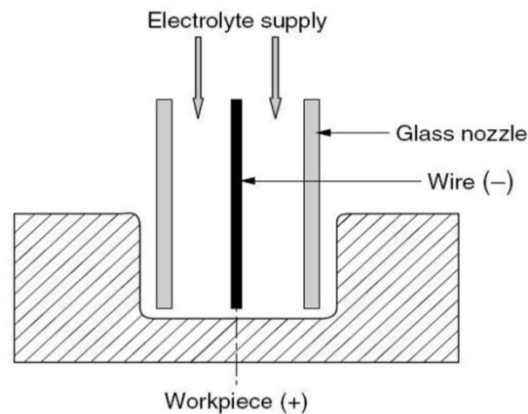


Gambar 2.5. Skema *Shaped Tube Electrolytic* (El-Hofy, 2005)

Sistem pada mesin *Shaped Tube Electrolytic* ini adalah harus tahan terhadap zat asam (*acid resistant*), kekakuannya tidak tinggi, dan memiliki *power supply* dengan polaritas yang bisa diubah secara periodik. Konfigurasinya sama dengan mesin ECM pada umumnya. Dikarenakan proses pemesinan STEM menggunakan cairan elektrolit yang bersifat asam, maka penggunaannya harus dibatasi untuk benda kerja yang tahan korosi (*corrosion resistance materials*). Hasil diameter *oversize* lubang pada STEM lebih kecil dibandingkan ECDR. Pengaplikasian mesin STEM biasanya pada komponen mesin jet dan turbin gas.

2.2.3.4 *Electrostream (Capillary) Drilling*

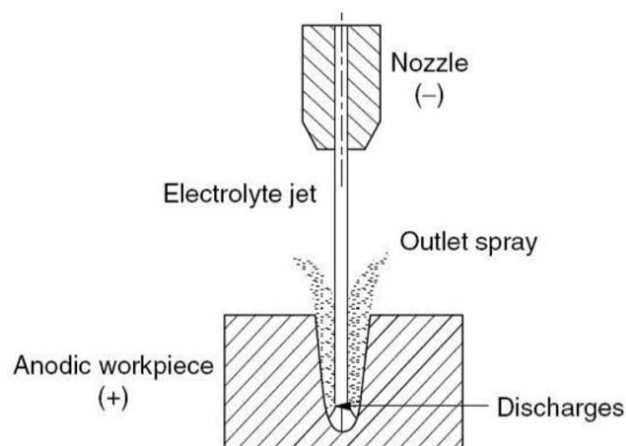
Salah satu pengembangan dari mesin ECM untuk membuat lubang yang sempurna karena STEM yang cuma bisa membuat lubang yang terlalu kecil. *Tool* yang digunakan dalam mesin ECM ini adalah berbahan *glass nozzle* dengan diameter 0,025 sampai 0,50 mm. *Tool* yang digunakan berbahan material platina.. Skema dari proses pemesinan dari *Electrostream (Capillary) Drilling* yaitu ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Skema pada *Electrostream (Capillary) Drilling* (El-Hofy, 2005)

2.2.3.5 *Electro Chemical Jet Drilling (ECJD)*

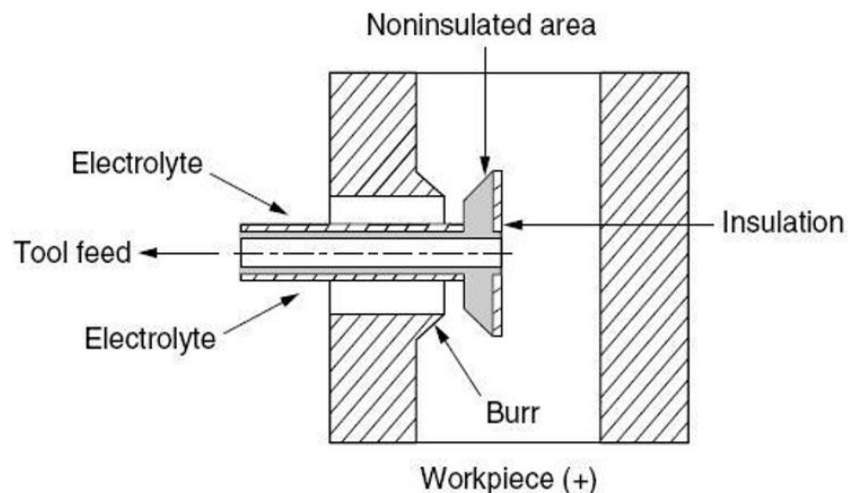
Penggunaan *Electro Chemical Jet Drilling* efektif digunakan untuk membuat lubang yang lebih kecil dan dapat dicapai dengan menggunakan *Electrostream (Capillary) Drilling*. Pada mesin *Electro Chemical Jet Drilling* menggunakan *cathode* sebagai *nozzlenya*. Prinsipnya hampir sama dengan *Electro Chemical Drilling* tetapi tekanan laju aliran atau *flowrate* pada pemesinan ini lebih besar. Pada mesin *Electro Chemical Jet Drilling* menggunakan tegangan listrik berkisar antara 400 sampai 800 *volt*. Lubang hasil proses pemesinan ECJD lebih besar dibandingkan *Electrolyte Jet* karena proses disolusi pada mesin ECJD menggunakan tekanan air dari *nozzle*. Skema ECJD ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. *Electro Chemical Jet Drilling (ECJD)* (El-Hofy, 2005)

2.2.3.6 *Electro Chemical Deburring (ECDB)*

Burr adalah sisa material pada bagian komponen mesin dari proses pengeboran yang harus dihilangkan, dan *Electro Chemical Deburring (ECDB)* sebagai alat untuk menghilangkan *burr* tersebut pada mesin non konvensional. Skema proses dari mesin ECDB ditunjukkan pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. Proses Mekanisme mesin ECDB (El-Hofy, 2005)

2.2.4. Peralatan pada mesin *Electro Chemical Machining (ECM)*

Komponen utamanya mesin ECM terdiri dari sistem kontrol kecepatan pemakanan pada proses pemesinannya, sistem kontrol aliran elektrolit yang dikeluarkan pada saat proses pemesinan, *power supply* arus DC meliputi tegangan dan arus yang dikeluarkan pada saat proses pemesinan dan cekam atau ragum untuk memegang benda kerja pada saat dilakukan proses pemesinan.

2.2.5 *Material Remove Rate (MRR)*

Material Remove Rate adalah banyaknya pemakanan pada jumlah massa benda kerja per satuan waktu pada saat proses pemesinan ECM berlangsung. Secara teoritis, MRR juga dapat dihitung dengan prinsip hukum Faraday mengenai elektrolisis. Persamaan dijelaskan sebagai berikut :

$$m = \frac{l \cdot t}{F} = \frac{M \cdot l \cdot t}{2 \cdot F} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$MRR = \frac{m}{t} = \frac{M \cdot l}{2 \cdot F} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

- m : Massa (g)
 I : Arus (A)
 t : Waktu pemesinan (s)
 F : Konstanta Faraday (96500 As)

Persamaan di atas adalah bentuk penyederhanaan dari beberapa asumsi dimana perhitungan tidak dipengaruhi oleh beberapa variabel proses, misal berubahnya valensi disolusi elektrokimia pada proses pemesinan, perubahan gas, pembentukan gelembung, konduktivitas listrik, variasi temperatur pada aliran elektrolit, dan lain-lain.

Secara aktual besar MRR dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{MRR} = \frac{m_o - m_t}{\rho \cdot t} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

- MRR : *Material Removal Rate* (mm³/s)
 m_o : Massa benda kerja sebelum proses pemesinan (gr)
 m_t : Massa benda kerja setelah proses pemesinan (gr)
 t : Waktu pemesinan (s)
 ρ : Massa jenis material (gr/mm³)

2.2.6 Overcut dan Ketirusan

Overcut adalah penyimpangan ukuran lubang hasil *drilling* lebih besar daripada ukuran *tool* pada pemesinan. *Overcut* tidak bisa dihilangkan sepenuhnya dikarenakan berguna untuk sirkulasi dari cairan elektrolit dan juga berfungsi untuk pemisah antara *tool* dengan benda kerja. Apabila *overcut* yang terjadi terlalu besar maka akan berakibat menurunnya kualitas produk, karena menyimpang dari toleransi yang ditentukan, tetapi apabila semakin kecil nilai *overcut* yang terjadi maka hasil kualitas dari pemesinan tersebut menjadi lebih baik atau menjadi lebih akurat.

Ketirusan adalah terbentuknya sudut yang menyimpang antara diameter lubang terbesar dengan diameter lubang terkecil. Skema tentang *overcut* dan ketirusan ditunjukkan pada gambar dibawah ini.

Rumus persamaan dari *overcut* dan ketirusan adalah sebagai berikut :

Overcut :

$$Oc = d_2 - d_o \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

Ketirusan :

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{d_2 - d_1}{2 \cdot h} \right) \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

d_2 : Diameter atas benda kerja (*mm*)

d_o : Diameter *tool* elektroda (*mm*)

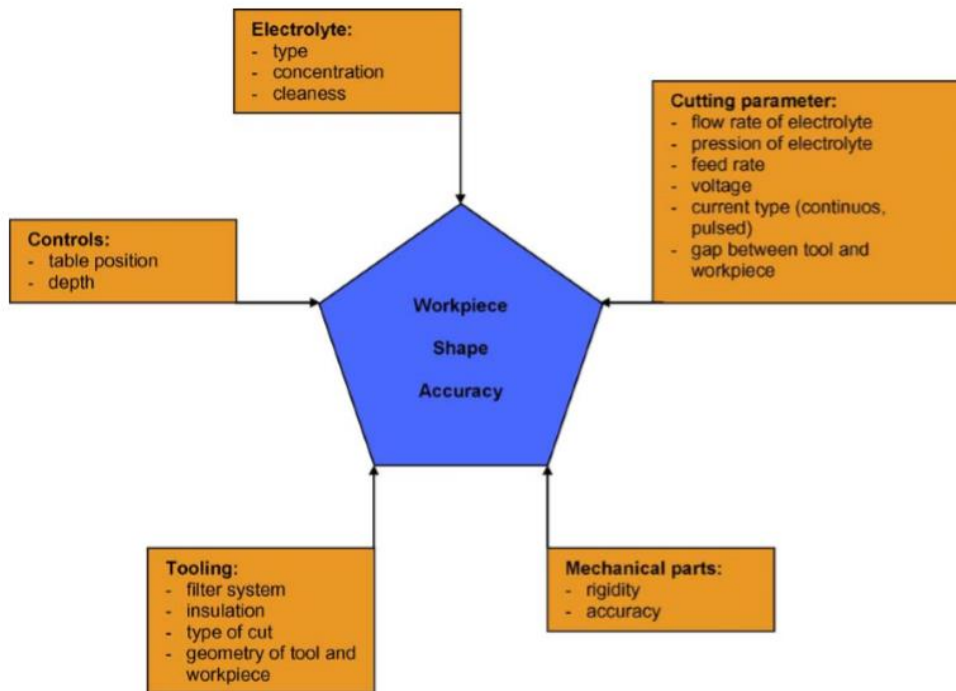
d_1 : Diameter bawah benda kerja (*mm*)

h : Tebal benda kerja (*mm*)

α : Sudut dari benda kerja ($^{\circ}$)

2.2.7 Keakuratan Mesin ECM

Keakuratan mesin ECM sangat bergantung pada densitas arus yang telah dipengaruhi oleh parameter pengujian antara lain variasi *flow rate electrolyte*, *gap*, *voltage* dan *feed rate*. Selain menggunakan variasi parameter pengujian, bisa menggunakan alat bantu seperti *filler system* untuk mengetahui keakuratan yang dibutuhkan. Keakuratan hasil dari proses pemesinan ECM dapat diukur melalui ukuran *overcut* yang dihasilkan setelah proses pemesinan. Setelah proses pemesinan selesai *overcut* diukur dan dibandingkan dengan ukuran lubang yang akan dibuat. Semakin kecil ukuran *overcut* maka semakin akurat hasil pemesinan tersebut. Tetapi apabila semakin besar nilai *overcut* yang dihasilkan maka akan mempengaruhi hasil pemesinan tersebut. Faktor keakuratan pada hasil pemesinan ECM dijelaskan pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Beberapa faktor yang mempengaruhi keakuratan pada mesin ECM
(Neto J. dkk. 2006)