

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Menurut penelitian Adi, (2015) didapatkan nilai MRR yang optimal pada konsentrasi elektrolit 15%, tegangan 14 V dan jarak celah (*gap*) 3 mm. Semakin tinggi konsentrasi larutan dan tegangan maka menghasilkan nilai MRR yang semakin tinggi. Sedangkan untuk *gap* pemesinan, semakin kecil jarak antara *tool* dengan benda kerja, maka nilai MRR akan semakin tinggi, untuk nilai *overcut* terkecil didapatkan pada konsentrasi larutan elektrolit 5%, tegangan 11V, dan *gap* 5 mm. Konsentrasi larutan elektrolit dan tegangan akan mempengaruhi dari nilai *overcut*, yaitu apabila semakin tinggi nilai konsentrasi dan tegangan, maka *overcut* yang didapatkan akan semakin tinggi, sedangkan untuk *gap* pemesinan, semakin kecil *gap* pemesinan maka nilai *overcut* semakin tinggi.

Pada penelitian lainya Rokin, (2016) yang membahas tentang pengaruh tegangan dan variasi jarak celah (*gap*) pada proses *electrochemical machining* (ECM) menggunakan elektroda kuningan terhadap nilai MRR, *overcut*, dan ketirusan pada aluminium 1100. Material *tool* yang dipakai yaitu kuningan bulat dengan diameter 3 mm yang tidak terisolasi dan dengan benda kerja yang aluminium 1100 dengan dimensi panjang 50 mm, lebar 40 mm, dan tebal 0,4 mm dengan di lapiasi masking berbahan *vinil*. Ada 2 faktor dan 3 level yang dipakai yaitu tegangan 7V, 10V, 15V dan *gap* 0.5 mm, 0.75 mm, 1 mm. Konsentrasi larutan yang digunakan yaitu NaCl dan aquades dengan perbandingan 15 % NaCl dan 85 % aquades, kecepatan laju aliran elektrolit yaitu sebesar 3 lpm. Menurut penelitian Rokin, (2016) Semakin besar *gap* pada proses pemesinan, maka nilai MRR semakin besar dan begitu juga apabila semakin besar tegangan yang digunakan maka nilai MRR juga bertambah. Untuk nilai MRR yang terbesar yaitu pada *gap* 1 mm yaitu sebesar  $1,505 \times 10^{-4}$  gr/dt dan pada tegangan 13 V. Dari hasil *overcut* yang didapatkan menjelaskan semakin besar *gap* maka nilai *overcut* akan semakin besar. Untuk nilai *overcut* terbesar yang didapatkan yaitu pada *gap* 1 mm dan tegangan 10V, sedangkan. Untuk nilai *overcut* terkecil yaitu pada *gap* 1 mm dan tegangan 7V. Semakin besar *gap* yang dipakai maka

arus yang keluar akan menyebar ke samping permukaan benda kerja dan menyebabkan hasil permesinan tidak rata sehingga nilai ketirusan yang didapatkan bervariasi. Untuk nilai ketirusan terkecil yaitu  $12,48^\circ$  pada tegangan 10 V dan *gap* 0,5 mm .

Pada penelitian lain Septiaji, (2016) yang membahas tentang analisa perhitungan MRR, *overcut*, dan ketirusan pada material benda kerja *stainless steel* 304 dan aluminium 1100 dengan variasi tegangan dan jarak celah (*gap*) pada proses ECM menggunakan *tool* elektroda terisolasi. Benda kerja yang digunakan *stainless steel* 304 dan aluminium 1100 dengan dimensi ketebalan 0,4 mm dengan diameter lubang *masking* 3 mm, sedangkan elektroda yang digunakan menggunakan material kuningan yang terisolasi dengan diameter 3 mm. Variasi *gap* antara elektroda terhadap benda kerja yaitu 0,5 mm, 0,75 mm, 1 mm dan dengan variasi tegangan 7V, 10V, 13V. Untuk konsentrasi larutan elektrolit yang dipakai yaitu 15 % NaCl + 85 % Aquades dengan laju kecepatan elektrolit 3 lpm dengan waktu pemesinan 371 detik pada material benda kerja *stainless steel* 304 dan 193 detik pada material aluminium 1100 untuk mendapatkan lubang yang mendekati sempurna. Dari hasil pengujian pada material aluminium 1100 nilai MRR terbesar yaitu pada *gap* 1 mm adalah sebesar  $5.57 \times 10^{-2} \text{ mm}^3/\text{dt}$ , dan nilai MRR terkecil pada *gap* 0.5 mm adalah sebesar  $2.27 \times 10^{-2} \text{ mm}^3/\text{dt}$ . Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar tegangan dan jarak celah (*gap*) maka nilai MRR yang didapat juga semakin besar. Dari hasil pengujian pada material aluminium 1100 nilai *overcut* terbesar yaitu pada *gap* 1 mm yaitu sebesar 2.24 mm, dan *overcut* terkecil pada *gap* 0.5 mm yaitu sebesar 1,0 mm. Dari hasil tersebut Septiaji, (2016) menjelaskan bahwa semakin besar tegangan dan *gap* yang diberikan, semakin tinggi juga nilai *overcut* yang didapatkan. Pada hasil pengujian hasil ketirusan pada material aluminium 1100 ketirusan tertinggi pada *gap* 1 mm sebesar  $25,81^\circ$  dan nilai ketirusan terkecil pada *gap* 0,5 mm sebesar  $1,04^\circ$ .

Penelitian lain yang dilakukan oleh Widyargo, (2017) adalah untuk mengetahui dan menentukan nilai respon terbaik pada setiap spesimen terhadap nilai *material remove rate* (MRR), dan *overcut* setelah proses pemesinan. Tiga

faktor yang dipakai pada penelitian yaitu, konsentrasi larutan elektrolit 10%, 15%, 20%, tegangan 7 V, 10 V, 13 V dan jarak celah (*gap*) 0.5, 0.75, 1.0 mm. Untuk nilai MRR tertinggi pada *tool* berpola dan *tool* tidak berpola pada konsentrasi larutan elektrolit 20%, sedangkan nilai tegangan tertinggi yaitu pada konsentrasi larutan 13%. Sehingga dapat disimpulkan semakin tinggi konsentrasi larutan elektrolit dan tegangan, maka nilai MRR juga semakin tinggi. Semakin kecil *gap*, maka MRR yang dihasilkan akan semakin kecil. Untuk nilai *overcut* terkecil pada konsentrasi larutan elektrolit 10%, tegangan 7V, dan *gap* 0.75 mm. Pada *overcut type B*, hasil terkecil terkecil pada konsentrasi larutan elektrolit 15%, tegangan 7V, dan *gap* 0.75 mm. Untuk nilai *overcut type C*, terkecil pada konsentrasi larutan elektrolit 15%, tegangan 7V, dan *gap* 0.5 mm. Pada *overcut type D*, hasil terkecil pada konsentrasi larutan elektrolit 20%, tegangan 10V, dan *gap* 0.5 mm. Nilai *overcut* terkecil pada *type A* yaitu pada konsentrasi larutan elektrolit 11%, tegangan 13V, dan *gap* 0.5 mm. Pada *overcut type B*, hasil terkecil terkecil pada konsentrasi larutan elektrolit 15%, tegangan 13 V, dan jarak celah (*gap*) 0.5 mm. Untuk nilai *overcut type C*, terkecil pada konsentrasi larutan elektrolit 15%, tegangan 13 volt, dan jarak celah (*gap*) 0.5 mm. Pada *overcut type D*, hasil terkecil pada konsentrasi larutan elektrolit 10%, tegangan 10 V, dan jarak celah (*gap*) 1 mm.

Pada penelitian lain Sumardi, (2016) tentang analisis perhitungan nilai MRR, *Overcut* dan jarak celah (*gap*) dengan menggunakan *tool* elektroda kuningan pejal dengan diameter 3 mm. Material benda kerja yang digunakan adalah *stainless steel* 304 dengan tebal 0,4 mm dengan waktu pemesinan 248 detik. Variasi jarak celah (*gap*) yang dipakai sebesar 0.5, 0.75, 1 mm dengan konsentrasi elektrolit NaCl 15% dengan laju aliran 3 lpm dan penurunan *tool* setiap 60 detik sebesar 0,1 mm. Dari hasil penelitian didapatkan nilai MRR terbesar pada jarak celah (*gap*) 0.5 mm dengan tegangan 13 V yaitu sebesar  $3,30 \times 10^{-4}$  g/dt. Sedangkan nilai MRR terkecil pada *gap* 1 mm dengan tegangan 7 V yaitu sebesar  $1,41 \times 10^{-4}$  g/dt. Dari hasil tersebut diketahui bahwa semakin besar tegangan dan *gap* yang diberikan maka semakin besar juga nilai MRR yang didapatkan. Pada pengujian hasil *overcut*, nilai *overcut* tertinggi yang didapatkan yaitu pada *gap* 1 mm dengan

tegangan 13 V yaitu sebesar 0,45 mm. Sedangkan nilai *overcut* terkecil yaitu pada *gap* 1 mm dengan tegangan 7 V yaitu sebesar 0,45 mm, secara presentase nilai *overcut* yang didapatkan yaitu berkisar 14,87% - 48,69%. Dari hasil pengujian ketirusan, nilai ketirusan terkecil yang didapatkan yaitu pada *gap* 1 mm dengan tegangan 13 V sebesar 21,03° dan nilai ketirusan terkecil pada *gap* 0,5 mm dengan tegangan 7 V sebesar 0,40°.

Pada penelitian lain Nugroho dkk (2016) tentang perancangan, pembuatan dan pengujian pendahuluan *electrochemical machine* skala laboratorium. Pengujian alat dengan proses pembuatan lubang pada material benda kerja SS 304 dengan ketebalan 0,4 mm dan *tool* yang dipakai menggunakan material kuningan. Konsentrasi larutan elektrolit NaCl yang dipakai sebesar 15% dengan tegangan 7 V dan variasi jarak celah 0.5, 0.75 dan 1.0 mm. *Tool movement* sebesar 0.1 mm per 50 detik dengan laju aliran 3 lpm. Dari hasil pengukuran MRR dan *overcut* Nugroho dkk (2016) menyatakan semakin besar jarak celah (*gap*) yang diberikan maka nilai MRR akan semakin turun. Hal tersebut dapat dilihat dari hasil variasi *gap* 0.5, 0.75, 1.0mm nilai MRR yang dihasilkan  $5.06 \times 10^{-4}$ gr/dt,  $5.07 \times 10^{-4}$ gr/dt dan  $4.81 \times 10^{-4}$ gr/dt. Sedangkan hasil *overcut* terbesar yaitu pada *gap* 0,75 mm sebesar 11.8%. Pada hasil ketirusan pada variasi jarak celah (*gap*) 0.5,0.75 dan 1.0 mm menunjukkan hasil -5.02°, -19.42°, dan +13,56° tanda negatif(-) menunjukan lubang membesar sedangkan positif (+) menunjukan lubang mengecil. Dari hasil ketirusan, *overcut* dan MRR yang didapatkan Nugroho, dkk (2016) menyatakan bahwa semakin besar *gap* maka arus yang keluar akan menyebar disekitar permukaan material. Besarnya sudut ketirusan berhubungan erat dengan besarnya *overcut* yang terjadi.

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

Dari percobaan Adi, (2015) menyatakan bahwa tinggi konsentrasi elektrolit dan tegangan maka semakin besar juga nilai respon MRR yang didapat. Dari hasil penelitian Rokin, (2016) menjelaskan, nilai MRR juga dipengaruhi oleh variasi jarak celah (*gap*) dan tegangan yang diberikan. Sumardi, (2016) menyimpulkan bahwa semakin besar tegangan dan *gap* yang diberikan maka

semakin besar juga nilai *overcut* yang didapatkan. *Gap* yang di berikan juga akan mempengaruhi nilai ketirusan yang didapatkan apabila *gap* yang diberikan besar nilai ketirusan juga akan besar. Hal tersebut dapat dilihat dari hasil penelitian Purna, (2016) nilai MRR terbesar pada *gap* 1 mm dan MRR terkecil pada *gap* 0.5 mm untuk hasil ketirusan tertinggi pada *gap* 1 mm dan pada nilai *overcut* tertinggi pada jarak *gap* 1 mm dengan penggunaan variasi *gap* 0.5, 0.75 dan 1.0 mm.

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian yang sebelumnya yaitu perbedaan *tool* yang digunakan. Penulis ingin melihat perbedaan hasil pemesinan nilai MRR, *overcut* dan ketirusan pada aluminium 1100 dengan variabel variasi jarak celah dengan menggunakan *tool* kuningan berlubang pada hasil *drilling* proses ECM. Pemilihan variabel *gap* 0.5, 0.75, 1.0 mm serta material benda kerja aluminium 1100 dipilih dengan acuan penelitian sebelumnya karena aluminium memiliki konduktivitas listrik yang lebih baik dari pada *stainless steel*.

## 2.2. Dasar Teori

### 2.2.1. *Electrochemical Machining* (ECM)

*Electrochemical Machining* (ECM) merupakan salah satu proses pemesinan non konvensional yang prinsip kerjanya berdasarkan hukum Faraday (1833). ECM adalah proses pemesinan yang bergantung pada penghapusan atom dari permukaan benda kerja (McGeough, 1988). ECM didasarkan pada proses *anodic dissolution* dalam elektrolisis (Tlusty, 2000). ECM adalah proses elektrolisis dimana pembuangan logam terjadi karena pelarutan secara proses kimia dari benda kerja (Sudiarso, 2009). Elektrolisis yaitu suatu proses kimia saat adanya arus listrik yang melewati dua buah elektroda yang terbenam pada larutan elektrolit, contohnya pada proses *electro-plating* dan *electro-polishing* juga terjadi proses elektrolisis. Pada proses elektrolisis terjadi proses penghapusan atom yang ada pada permukaan benda kerja yang tergantung dari gerakan dan bentuk elektroda terhadap benda kerja, yang dalam hal ini disebut dengan *Material Removal Rate* (MRR). Parameter yang mempengaruhi dari MRR pada proses ECM yaitu *gap* serta kerapatan arus antara benda kerja

terhadap *tool*. Sehingga untuk memperoleh nilai MRR yang tinggi dibutuhkan arus yang tinggi.

Pada ECM memanfaatkan reaksi kimia dari material benda kerja (*anode*) dan elektroda (*catode*) yang kedua material harus bersifat konduktor (menghantarkan listrik), sehingga terjadi pelarutan *anodis* karena adanya proses pelepasan muatan listrik. Sumber tegangan yang digunakan yaitu arus DC yang mengalir pada jarak celah (*gap*) antar benda kerja dan elektroda melalui perantara reaksi cairan elektrolit. Muatan listrik dengan kuat arus yang tinggi dan tegangan yang rendah yang berfungsi untuk mengikis dan melarutkan partikel logam benda kerja.

ECM mempunyai beberapa kelebihan dari pemesinan konvensional dan *non*-konvensional lainnya, yaitu :

1. Mampu melakukan pemesinan dengan benda kerja yang mempunyai tingkat kekerasan dan keuletan yang tinggi.
2. ECM sangat aman untuk proses pemesinan dengan benda kerja jenis *fragile parts, non-rigid* dan *brittle materials*.
3. Elektroda dan benda kerja tidak bersentuhan sehingga tidak ada *cutting force* selama proses pemesinan.
4. Mampu mengerjakan proses pemesinan dengan bentuk yang kompleks yang sulit dikerjakan dengan metode konvensional.
5. Dapat dipergunakan untuk memotong benda kerja dengan dengan dimensi ukuran dan sudut yang kecil.
6. Tidak terjadi kerusakan pada benda kerja yang ditimbulkan oleh pengaruh panas dan tekanan (*thermal and mechanical stress*),
7. Elektroda atau pahat lebih awet karena tingkat keausan pemakaian sangat kecil.
8. *Surface finish* yang baik.
9. *Time saving* yang dimiliki ECM lebih baik dibandingkan mesin konvensional.

Selain kelebihan, ECM juga memiliki banyak kekurangan, yaitu:

1. ECM memerlukan daya yang besar untuk mengoprasikannya,
2. Memelukan waktu dan biaya tambahan untuk membuat elektroda yang berfungsi sebagai alat potong pada ECM,
3. Dapat mengakibatkan korosi pada benda kerja dan mesin itu sendiri, karena penggunaan eletrolit,
4. Pengikisan benda kerja pada proses pemesinan tergantung dari energi yang di pakai.

### 2.2.2. Prinsip Kerja pada *Electrochemical Machining* (ECM)

Apabila arus listrik melewati elektroda dan *catode* yang melalui cairan eletrolit maka terjadi elektrolisis. Cairan eletrolit dan sistem eletrolit dinamakan sel elektrolisis sedangkan reaksi kimia yang terjadi pada elektroda dinamakan realksi *anodis* dan *katodis*. Dasar dari proses pemesinan ECM pada benda kerja merupakan disolusi *anodis*.

Hukum Faraday yang menyatakan tentang elektrolisis, bahwa:

1. Jumlah massa yang dihilangkan oleh proses pemesinan,  $m$ , berbanding lurus dengan jumlah muatan listrik.

$$m \sim I.t \dots\dots\dots (2.1).$$

$$Q = I.t \dots\dots\dots (2.2).$$

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

$$m \sim E \dots\dots\dots (2.3).$$

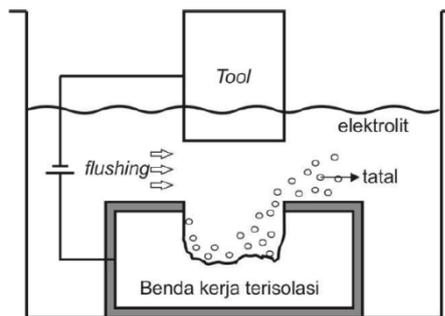
$$E = \frac{M}{Z} \dots\dots\dots (2.4).$$

Keterangan :

- $I$  : arus listrik, Ampere (A)  
 $M$  : massa benda (g)  
 $t$  : waktu permesinan, detik (s)

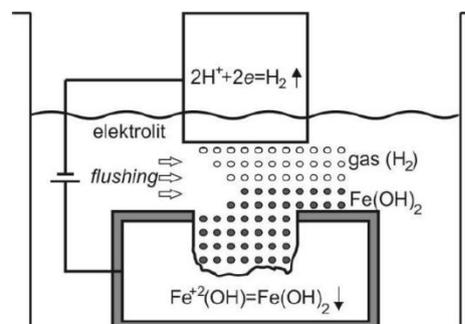
- $E$  : berat kimia ekuivalen  
 $M$  : berat atom (g)  
 $I$  : arus listrik, Ampere (A)  
 $Z$  : valensi benda kerja  
 $Q$  : jumlah muatan listrik (mol)

Pada proses ECM pengerjaan material menggunakan prinsip pelarutan anodis (*anodic dissolution*) oleh cairan elektrolit yang mengalir ke benda kerja (*anode*) melalui *gap* dan elektroda (*anode*), seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.1. Benda kerja (*anode*) dihubungkan dengan sumber arus listrik searah bermuatan positif (DC+) dan elektroda/*tool* (*catode*) dihubungkan dengan sumber arus listrik searah bermuatan negatif (DC-) dengan cairan elektrolit mengalir diantara celah *elektrode* dan benda kerja.



Gambar 2.1. Prinsip ECM (McGeough, 1988).

McGeough (1988) menyatakan bahwa ketika beda potensial diterapkan pada elektroda maka akan terjadi beberapa kemungkinan reaksi yang terjadi pada *anode* dan *catode* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2.



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

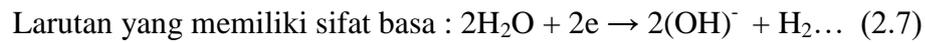
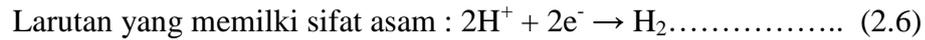
### 2.2.3. Reaksi kimia pada proses *Electrochemical Machining* (ECM)

#### 1. Pada katoda (*electode*)

##### a. Proses pelapisan ion-ion logam



##### b. Proses terbentuknya gas hydrogen

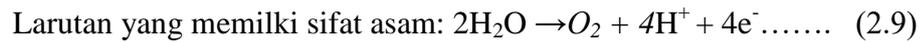


#### 2. Pada anoda (benda kerja)

##### a. Proses pelarutan ion material di dalam elektrolit

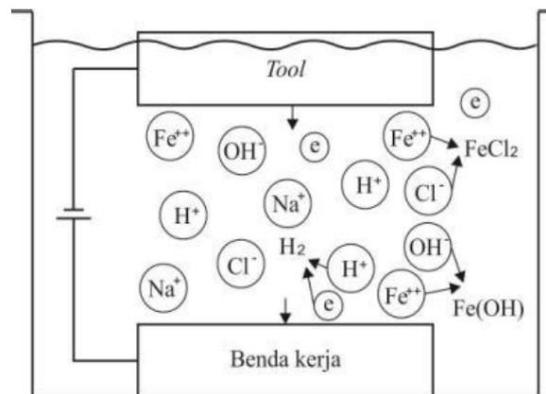


##### b. Proses pembentukan oksigen



##### c. Pengerakan ion karena adanya medan listrik serta difusi, ditunjukkan pada Gambar 2.3.

##### d. Proses konveksi karena adanya aliran elektrolit.



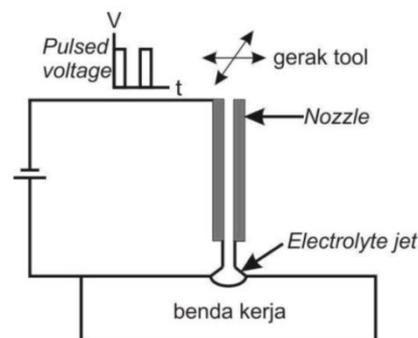
Gambar 2.3. Skema *representatif* reaksi kimia pada ECM (Tlusty, 2000).

## 2.2.4. Jenis *Electrochemical Machining* (ECM)

Pada *Electrochemical machining* (ECM) terbagi dalam beberapa jenis berdasarkan kebutuhan dalam pemesinan yang dibutuhkan, diantaranya :

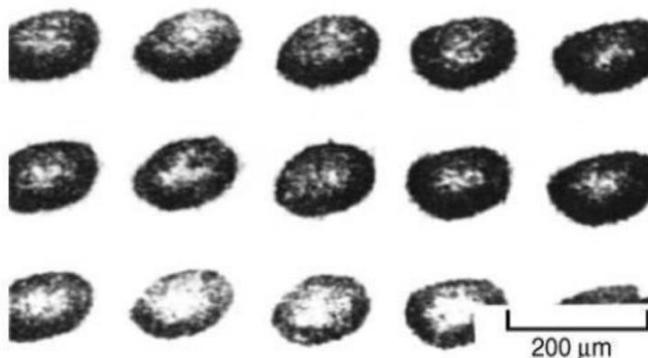
### 2.2.4.1. *Micro-ECM*

*Micro electrochemical machining* bisa dikatakan dalam proses pemesinan dengan tingkat akurasi yang rendah. Hal tersebut dikarenakan jarak celah (*gap*) pada proses pesinannya lebih lebar daripada mesin *non-konvensional* lainnya.



Gambar 2.4. *Electrolyte Jet* (El-Hofy, 2005).

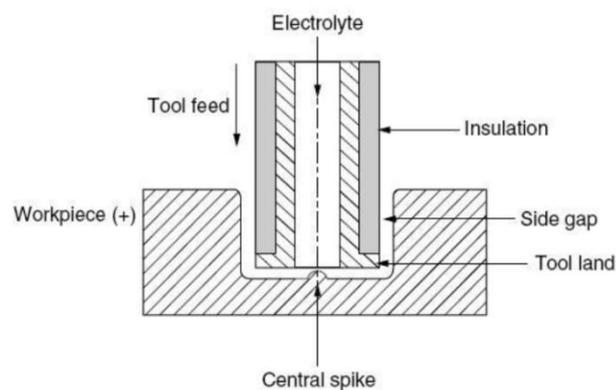
Pada *Micro electro chemical machining*, *tool micro* yang dipakai yaitu berfungsi sebagai *nozzle* untuk aliran *electrolyte jet* yang bisa dilihat pada Gambar 2.4. dimana *tool* bergerak terhadap benda kerjanya. Pada *micro-ECM* menggunakan jenis arus *pulse current* (arus kotak) dengan tujuan dapat menghasilkan *indentasi* (cekungan) yang kecil pada saat pemesinan. Hasil *indentasi* (cekungan) pada pemesinan *micro-ECM* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. *Indentasi* (cekungan) pada pemesinan *micro-ECM* (El-Hofy, 2005).

### 2.2.4.2. *Electrochemical Drilling (ECDR)*

Pada proses *Electrochemical drilling* (ECDR) *tool elektroda* yang digunakan berbentuk pipa (*tubular*). Cairan elektrolit mengalir dari dalam tengah *tool* dan disemprotkan keluar sehingga elektrolit keluar diantara jarak celah (*gap*) antara *tool* dan benda kerja. Hasil pemesinan yang dihasilkan memiliki diameter dengan kisaran 1-2 mm dengan laju pemakanan 1-5 mm/menit. Proses *Electro Chemical Drilling* (ECDR) dapat dilihat pada Gambar 2.6.

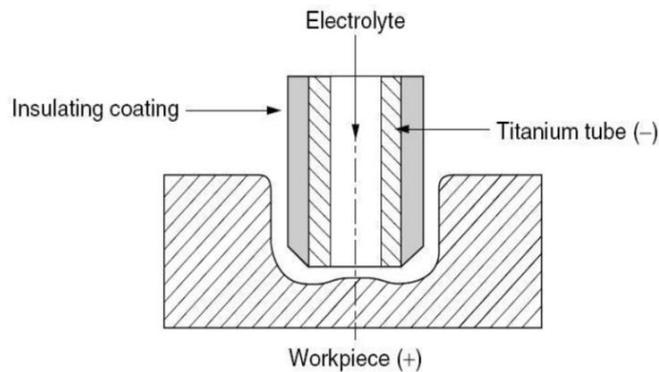


Gambar 2.6. Konfigurasi ECDR (El-Hofy, 2005).

Pada *Electro chemical drilling* proses pemakan benda kerja juga terjadi disamping *tool* dan permukaan benda kerja, yang mengakibatkan diameter lubang yang dihasilkan lebih besar dari diameter *tool* (*oversize*). Sehingga untuk proses pemesinan dengan *oversize* yang kecil dengan akurasi yang tinggi disarankan menggunakan laju pemakanan (*feed rate*) yang tinggi agar *material removal rate* (MRR) dan *surface quality* yang dihasilkan juga tinggi.

### 2.2.4.3. *Shaped Tube Electrolytic Machining (STEM)*

Pada *shaped tube electrolytic machining*(STEM) menggunakan prinsip yaitu proses disolusi karena adanya perbedaan tegangan listrik diantara *tool* dan benda kerja yang menyebabkan adanya medan listrik diantara elektroda. Sehingga proses penghapusan material pada permukaan benda kerja terjadi dengan perantara cairan elektrolit. Sistem konfigurasi pada STEM pada dasar sama dengan ECM yang bisa dilihat pada Gambar 2.7.

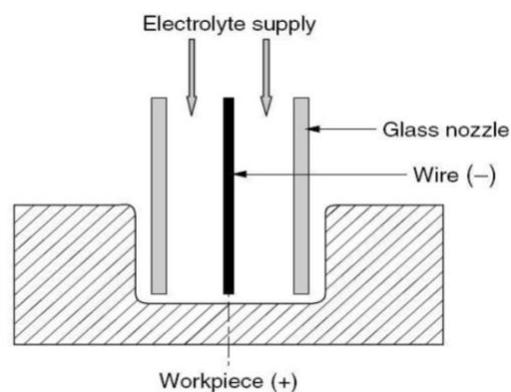


Gambar 2.7. Skema Konfigurasi STEM (El-Hofy, 2005).

Pada proses pemesinan STEM penggunaannya terbatas karena elektrolit bersifat asam sehingga hanya untuk material yang mempunyai ketahanan korosi yang tinggi (*corrosion resistant materials*) dan sistem pada STEM harus memiliki sifat ketahanan terhadap keasaman yang tinggi (*acid resistant*). Untuk hasil pemesinan STEM lebih baik dibandingkan pada ECDR karena diameter *oversize* yang dihasilkan lebih kecil.

#### 2.2.4.4. *Electrostream (Capillary) Drilling*

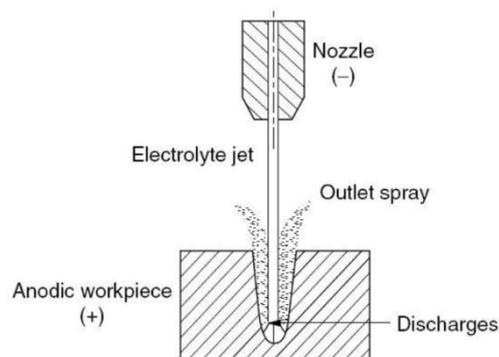
*Electrostream (Capillary) Drilling* adalah teknik khusus dari pengembangan ECM untuk proses pembuatan lubang yang lebih baik dibandingkan EDM dan STEM. *Tool* yang digunakan yaitu *glass nozzle* dengan diameter 0,025 mm – 0,5 mm yang berisikan kawat platina didalamnya yang berfungsi untuk mengkonduksikan arus menuju elektrolit. Skema *Electrostream (Capillary) Drilling* dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Skema *Electrostream (Capillary) Drilling* (El-Hofy, 2005).

#### 2.2.4.5. *Electrochemical Jet Drilling (ECJD)*

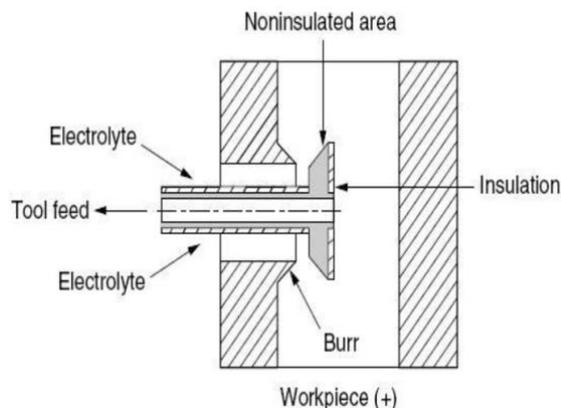
*Electrochemical Jet Drilling (ECJD)* adalah proses pemesinan untuk pembuatan lubang dengan diameter yang kecil yang tidak bisa dicapai pada *Electrostream (Capillary) Drilling* akan tetapi pada umumnya diameter lubang yang dihasilkan pada ECJD lebih besar dibandingkan pada *Electrolyte jet* karena proses pemesinan di bantu oleh tekanan air. Tegangan listrik yang digunakan pada proses pemesinan begitu besar yaitu mencapai 400 V – 800 V. Pada proses pemesinan ECJD yang dapat dilihat pada Gambar 2.9. dimana *nozzle* berfungsi sebagai katoda.



Gambar 2.9. *Electrochemical Jet Drilling* (El-Hofy, 2005).

#### 2.2.4.6. *Electrochemical Deburring (ECDB)*

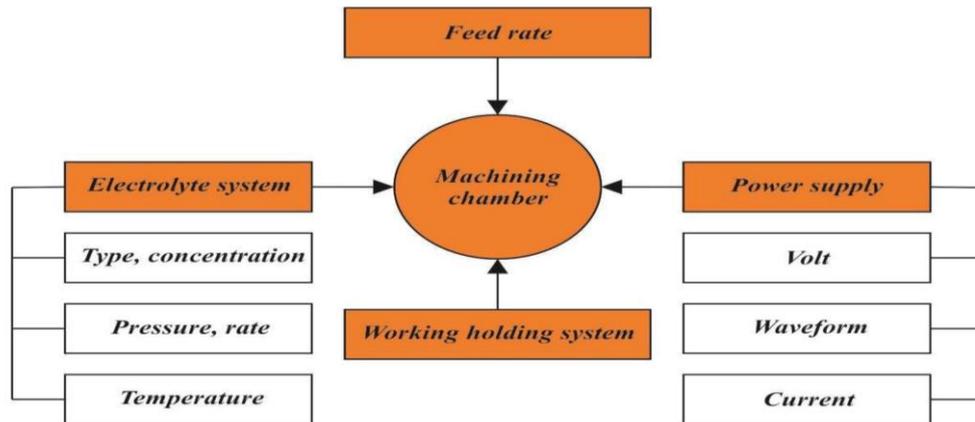
*Electrochemical Deburring (ECDB)* adalah proses pemesinan untuk menghilangkan sisa material hasil pengeboran yang tidak diinginkan (*burr*) pada bagian komponen-komponen tertentu dari hasil proses manufaktur. Pada Gambar 2.10. menunjukkan mekanisme dari *deburring* pada proses ECDB.



Gambar 2.10. Mekanisme ECDB (El-Hofy, 2005).

### 2.2.5. Peralatan *Electrochemical Machining* (ECM)

Pada mesin ECM terdiri dari beberapa komponen sebagai penunjang untuk kinerja mesin yaitu terdiri dari *power supply*, sistem kontroler, *frame*, sistem elektrolit, *tool*, dan pejepit benda kerja seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11. sebagai berikut.



Gambar 2.11. Komponen sistem pada ECM.

#### 2.2.5.1. *Power Supply*

*Power supply* yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis *power supply regulated* sehingga ketika dikenai beban tegangannya tidak berubah. Sedangkan untuk *power supply unregulated* bila dikenai beban tegangannya akan turun. *Power supply regulated* yang digunakan untuk penelitian memiliki spesifikasi sebagai berikut :

1. Tegangan 2-80 Volt (kontinu atau pulse).
2. Kisaran arus antara 5-50 A.
3. Penyesuaian tegangan pada *gap* berlangsung secara kontinu.
4. Pengendali arus dalam keadaan darurat (*emergency*).
5. Proteksi arus pendek (*short circuit*) dalam 0,001 s.

#### 2.2.5.2. *Tool Elektroda*

*Tool* elektroda yang digunakan pada pemesinan ECM harus bersifat mampu menghantarkan listrik (konduktor), tahan karat, tahan terhadap korosi untuk jangka waktu yang lama dan mudah untuk dilakukan proses pemesinan sesuai

geometri yang diperlukan. Keakuratan dimensi serta *surface finish* pada *tool elektroda* akan berpengaruh langsung terhadap *surface finish* serta akurasi benda kerja. Material yang sering digunakan sebagai *tool elektroda* pada proses pemesinan ECM yaitu : Aluminium, tembaga, kuningan, stainless steel, karbon, perak, dan monel. Pemilihan material sebagai *tool elektroda* untuk proses pemesinan ECM kali ini adalah berbahan kuningan.

Kuningan adalah logam paduan antara tembaga (Cu) dengan seng (Zn). Perbandingan antara tembaga (Cu) dengan seng (Zn) yang pakai beragam, tergantung dengan karakteristik dan kuningan yang ingin dihasilkan, tetapi pada umumnya kadar tembaga pada kuningan antara 60 - 90% dari massa total.



Gambar 2.12. *Tool elektroda* Kuningan.

### 2.2.5.3. Elektrolit

Elektrolit pada proses ECM berfungsi sebagai berikut :

1. Menciptakan kondisi *anodic dissolution* pada material benda kerja.
2. Sebagai media untuk mengkonduksikan arus pemesinan.
3. Menghilangkan *debris* hasil reaksi dari proses ECM.
4. Memindahkan panas (*dissipation*) yang dihasilkan oleh proses pemesinan suhu agar tetap konstan.

Elektrolit yang sering dipakai pada ECM yaitu *Natrium Klorida* ( $\text{NaCl}$ ), *Natrium Nitrat* ( $\text{NaNO}_3$ ), dan *Natrium Hidroksida* ( $\text{NaOH}$ ). Penggunaan campuran elektrolit pada proses ECM disesuaikan dengan kebutuhan.

Tabel 2.1. Elektrolit dan laju pemesinan benda kerja (Metals Handbook, 1989).

<i>Work material</i>	<i>Electrolyte</i>		<i>Removal rate, mm<sup>3</sup>/(min·A)</i>
	<i>Constituent</i>	<i>Concentration g/L H<sub>2</sub>O</i>	
<i>Grey iron</i>	$\text{NaCl}$	300	2,0
	$\text{NaNO}_3$	600	2,0
<i>White cast iron</i>	$\text{NaNO}_3$	600	1,6
<i>Steel; hardened tool Steel</i>	$\text{NaClO}_3$	780	2,0
<i>Steel; iron-, and nickel-, and cobalt- base alloy</i>	$\text{NaNO}_3$	600	2,1
	$\text{NaCl}$ or	300	2,1
	KCL		
<i>Copper &amp; copper Alloy</i>	$\text{NaCl}$ or	300	4,4
	KCL	600	3,3
	$\text{NaNO}_3$		
<i>Tungsten</i>	$\text{NaOH}$	180	1,0
<i>Titanium alloy</i>	$\text{NaCl}$ or	120	1,6
	KCL		
<i>Molybdenum</i>	$\text{NaOH}$	180	1,0

#### 2.2.5.4. Benda Kerja (*workpiece*)

Benda kerja pada ECM harus mampu menghantarkan arus listrik (konduktor) selain itu benda kerja harus mampu mendapatkan perlakuan panas. Unsur pada benda kerja sangat menentukan dari terjadinya efisiensi arus selain itu kereaktifan unsur juga memengaruhi hasil pemesinan pada benda kerja. Material benda kerja yang digunakan pada penelitian kali ini adalah aluminium 1100.

Aluminium adalah logam yang reaktif sehingga mudah teroksidasi dengan oksigen yang akan membentuk lapisan aluminium oksida, alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) sehingga membuatnya tahan korosi. Namun apabila kadar alumina

menurun mengakibatkan sifat tahan korosinya menurun pula salah satunya apabila kadar Fe, Cu dan Ni ditingkatkan. Aluminium mempunyai sifat yang ulet, mudah dilakukan proses pemesinan dan mempunyai kekuatan tarik sekitar 4~5 kgf/mm<sup>2</sup>. Komposisi kimia dari aluminium 1100 yaitu, Silikon 1,0%, Besi 1,0%, Tembaga 0,13%, Mangan 0,05%, Seng 0,1% (Yudy, 2013).

### 2.2.6. *Material Removal Rate (MRR)*

*Material Removal Rate (MRR)* yaitu jumlah massa benda kerja yang terkikis persatuan waktu. Secara teoritis MRR dapat dihitung berdasarkan prinsip Faraday tentang elektrolisis menggunakan persamaan di bawah ini :

$$m = \frac{I.t}{F} = \frac{M.I.t}{2.F} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$MRR = \frac{m}{t} = \frac{M.I.}{2.F} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan :

- $m$  : massa dalam gram (g)
- $I$  : arus listrik, Ampere (A)
- $t$  : waktu pemesinan, detik (dt)
- $F$  : konstanta Faraday, (96500 As)

Persamaan tersebut adalah penyederhanaan dari beberapa asumsi dimana perhitungan tidak terpengaruh dari beberapa variabel proses, seperti perubahan valensi disolusi elektrokimia pada pemesinan, evolusi gas dan pembentukan gelembung, konduktivitas listrik, temperatur yang bervariasi pada aliran elektrolit, *over potensial*, dan lain-lain (McGeough,1974).

Secara aktual besarnya MRR dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

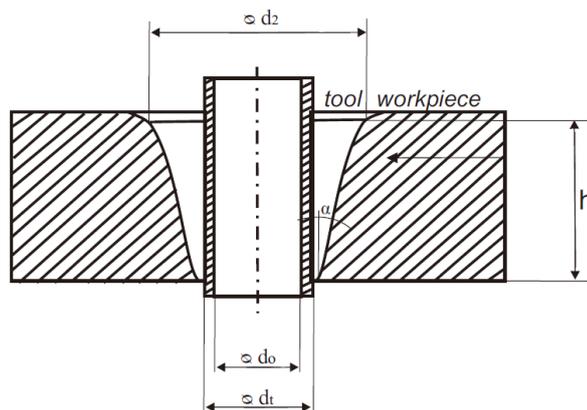
$$MRR = \frac{m_0 - m_t}{t} \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan :

- MRR : Material Removal Rate (g/dt)
- $m_0$  : Massa benda kerja sebelum pemesinan (gram)
- $m_t$  : Massa benda kerja setelah pemesinan (gram)
- $t$  : Waktu pemesinan (detik)

### 2.2.7. Overcut

*Overcut* adalah penyimpangan yang menunjukkan bahwa ukuran lubang hasil *drilling* lebih besar dari ukuran *tool* yang digunakan. Pada prinsipnya *overcut* pada proses pemesinan ECM tidak dapat dihilangkan 100%, karena *overcut* tetap dibutuhkan untuk menjaga sirkulasi dari cairan elektrolit dan *tool* sebagai elektroda agar tidak bersentuhan secara langsung dengan benda kerja agar tidak terjadi hubung singkat (*short circuit*). Tetapi apabila hasil *overcut* yang dihasilkan terlalu besar akan berpengaruh terhadap kualitas produk yang menurun salah satunya dalam hal ketelitian serta geometri produk. Untuk ketirusan yaitu sudut yang terbentuk dari penyimpangan atau deviasi antara lubang terbesar dan yang terkecil. *Overcut* serta efek ketirusan dapat dijelaskan dari skema Gambar 2.13.



Gambar 2.13. *Overcut* dan efek tirus pada lubang hasil *drilling* ECM.

Nilai *overcut*  $O_c$  dirumuskan sebagai berikut :

$$O_c = d_2 - d_0 \dots \dots \dots (2.14)$$

Sedangkan ketirusan  $\alpha$  sebagai berikut :

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{d_2 - d_1}{2 \cdot h} \right) \dots \dots \dots (2.15)$$

Keterangan :

$O_c$  : *overcut*, milimeter (mm)

$\alpha$  : ketirusan, derajat ( $^\circ$ )

- $d_2$  : diameter hasil *drilling* ECM bagian depan *workpiece*, milimeter (mm)
- $d_1$  : diameter hasil *drilling* ECM bagian belakang *workpiece*, milimeter (mm)
- $d_0$  : diameter *tool*, milimeter (mm)
- $h$  : ketebalan *workpice*, milimeter (mm)