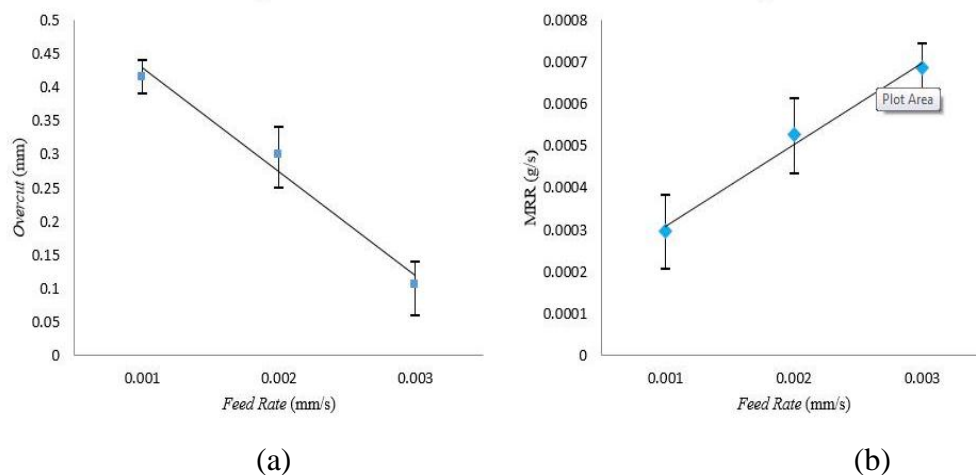


BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

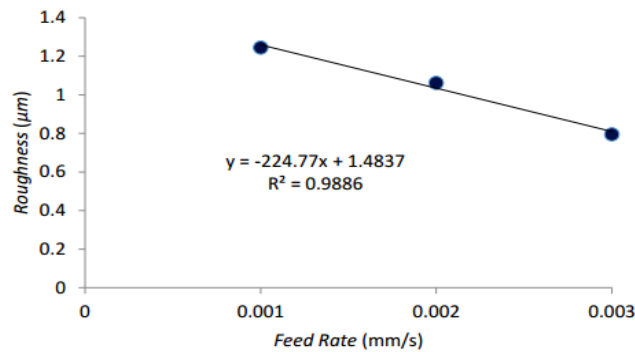
2.1. Kajian Pustaka

Permana (2012) melakukan penelitian tentang pengaruh besarnya *feed rate* terhadap *overcut*, MRR, dan *surface roughness* yang didapat setelah proses pemesinan. Pada penelitian ini elektroda aluminium digunakan sebagai *tool* dengan benda kerja *stainless steel* J-430, elektrolit yang digunakan NaCl dan celah gap 0,5 mm. Permana (2012) menerangkan bahwa besarnya *feed rate* berbanding terbalik dengan *overcut* pada benda kerja sebab semakin lama proses pemesinan untuk mencapai kedalaman yang diinginkan, maka material yang terlepas akan semakin banyak sehingga *overcut* yang didapat akan semakin besar juga. Tapi beda halnya dengan MRR yang diperoleh, MRR berbanding lurus dengan besarnya *feed rate*, hal ini disebabkan oleh jarak gap antara *tool* dengan benda kerja yang semakin sempit, sehingga didapat efisiensi arus yang tinggi saat proses pemesinan. Hasil *overcut* dan MRR yang didapat pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.1.



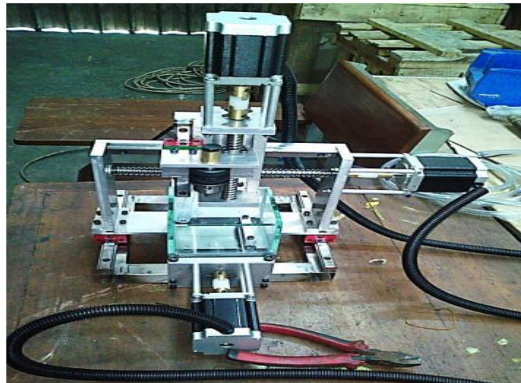
Gambar 2.1. Grafik rata-rata (a) *overcut* dan (b) MRR *stainless steel* J-430 (Permana, 2012)

Hasil *surface roughness stainless steel* berbanding terbalik dengan laju pemakanan (*feed rate*), dimana semakin tinggi laju pemakanan maka semakin kecil *surface roughness* yang didapat saat proses pemesinan ECM, dan begitu juga sebaliknya.

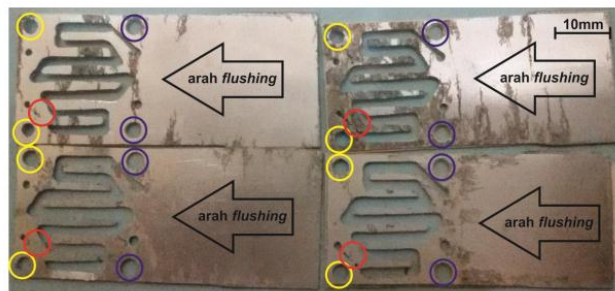


Gambar 2.2. Grafik rata-rata *surface roughness stainless steel j-430* (Permana, 2012)

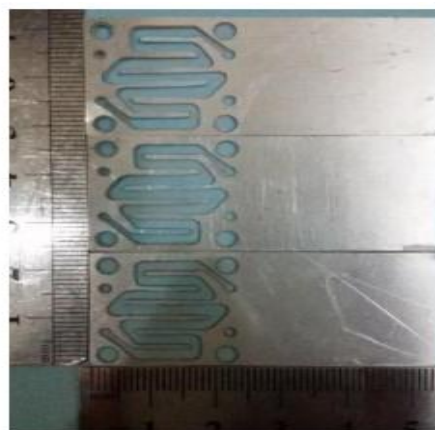
Prasetya (2014) melakukan perancangan dan pembuatan mesin *electro chemical machining* serta melakukan pengujian mesin pada pembuatan *multi-layered microfilters, tool* yang digunakan berbahan tembaga dan aluminium terisolasi sebagai benda kerjanya. Prasetya (2014) melakukan penelitian pengaruh besarnya nilai kadar NaCl terlarut pada elektrolit terhadap laju pemakanan MRR, *overcut*, dan *surface roughness* pada proses pemesinan ECM. Pada penelitiannya dilakukan variasi nilai kadar NaCl terlarut pada elektrolit sebesar: 5, 10, 15, 20 dan 25%. Pengujian dilakukan dengan *tool* (katoda) tembaga berdimensi permukaan 35×25 mm dan benda kerja (anoda) aluminium dengantebal 0,3 mm untuk pengujian MRR dan pengujian *surface roughness*, sedangkan untuk pengujian *overcut* menggunakan *tool* berbentuk pipa tembaga dengan diameter luar 10 mm dan diameter dalam 8 mm. Hasil pengujian MRR dan *overcut* didapat kesimpulan bahwa semakin tinggi nilai MRR semakin tinggi juga nilai *overcut* yang dihasilkan, hasil pemesinan yang optimal didapat pada hasil percobaan penggunaan elektrolit dengan kadar NaCl terlarut sebesar 25% dengan MRR tertinggi sebesar $1,59 \times 10^{-3}$ g/dt dan *surface roughness* terendah sebesar 3,03 µm.



Gambar 2.3. Mesin ECM yang dibuat
(Prasetya, 2014)

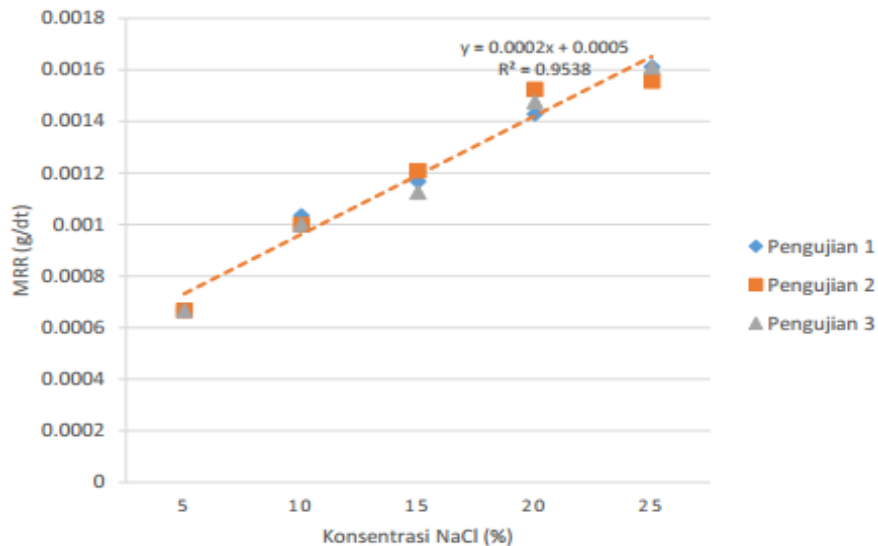


Gambar 2.4. Hasil pemesinan arah *flushing* dari samping
(Prasetya, 2014)



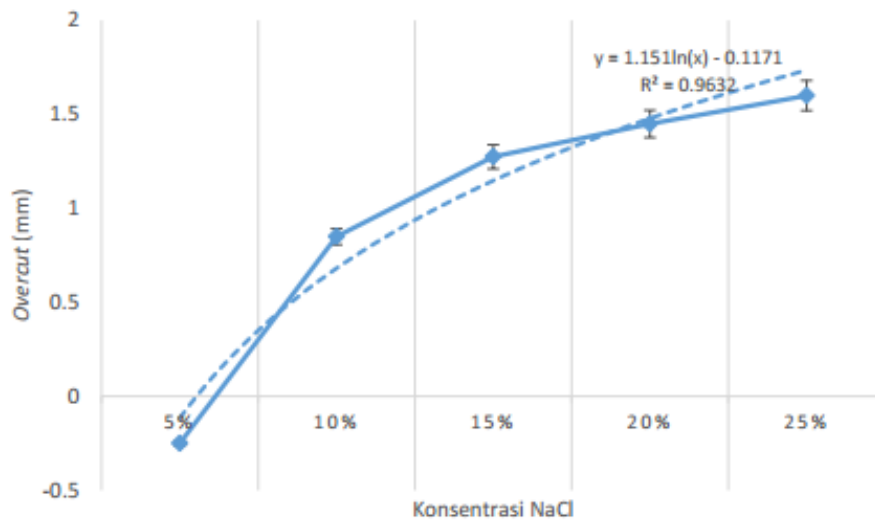
Gambar 2.5. Hasil pemesinan arah *flushing* dari atas
(Prasetya, 2014)

Kadar NaCl terlarut pada elektrolit sangat berpengaruh terhadap nilai MRR benda kerja. Semakin tinggi kadar NaCl yang terkandung dalam elektrolit maka semakin besar juga nilai MRR yang didapat pada proses pemesinan ECM. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.6.



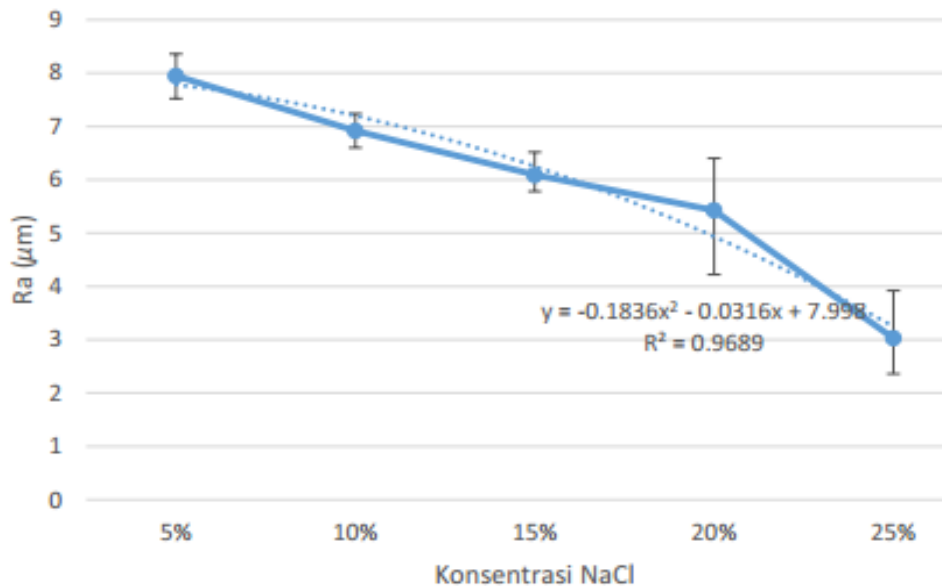
Gambar 2.6. Grafik MRR
(Prasetya, 2014)

Seperti yang sudah disebutkan bahwa semakin tinggi kadar NaCl maka akan memperkecil resistansi pada elektrolit sehingga efisiensi arus yang didapat semakin besar. Arus yang besar dapat mempercepat proses pemakanan benda kerja, sehingga *overcut* terbesar yang didapat benda kerja dengan waktu pemesinan yang sama adalah pada hasil pemesinan dengan kadar NaCl tertinggi. Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Grafik *overcut* (Prasetya, 2014)

Hasil dari penelitian didapat bahwa *surface roughness* berbanding terbalik dengan besarnya kadar NaCl elektrolit, semakin tinggi kadar NaCl pada elektrolit maka semakin kecil nilai *surface roughness* yang didapat, dan begitu juga sebaliknya. Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Grafik hasil pengujian *surface roughness* (Prasetya, 2014)

Dari kajian pustaka tersebut maka dapat disimpulkan bahwa:

Hasil pengujian MRR ekuivalen dengan hasil pengujian *overcut*. Semakin tinggi nilai *overcut* maka semakin tinggi juga nilai MRR yang didapat saat proses pemesinan. Dari hasil percobaan diketahui bahwa hasil yang optimal saat pemesinan didapatkan pada percobaan dengan kadar NaCl dalam elektrolit sebesar 25%. dengan MRR paling tinggi sebesar $1,59 \times 10^{-3}$ g/dt, dan *surface roughness* paling rendah sebesar 3,03 μm (Prasetya (2014)).

2.2. Dasar Teori

2.2.1. *Electro Chemical Machining* (ECM)

Electro Chemical Machining (ECM) merupakan salah satu mesin non konvensional. Material benda dengan tingkat kekerasan yang tinggi dan mempunyai bentuk kompleks dapat dikerjakan dengan menggunakan ECM. Oleh sebab itu banyak riset guna untuk mengembangkan ECM karena dirasa merupakan salah satu langkah yang efektif untuk pengerjaan benda dengan bentuk yang kompleks. Pada dasarnya ECM memanfaatkan energi listrik dan elektrolit untuk pengerjaannya dimana *tool* sebagai anoda dan benda kerja sebagai katodanya.

Dalam *Electro Chemical Machining* (ECM) digunakan prinsip kerja dari hukum Faraday (1833) dimana terjadi pelepasan atom pada benda kerja melalui proses kimia saat pemesinan. Elektrolisis adalah suatu proses kimia dimana terjadi saat ada arus listrik yang melewati dua elektroda yang terbenam di dalam larutan elektrolit. Tidak hanya sebatas riset, *Electro Chemical Machining* (ECM) juga banyak digunakan dalam dunia industri, seperti pada pembuatan part – part turbin dan mesin berkompresi tinggi, implant dalam dunia medis, juga pembuatan sukucadang dalam industri elektronik.

Adapun beberapa kelebihan menggunakan ECM , antara lain:

1. Dapat mengerjakan pemesinan pada benda kerja yang mempunyai tingkat kekerasan tinggi sebab dalam proses ini tidak dipengaruhi oleh kekerasan benda kerja.

2. Aman digunakan pada pemesinan benda kerja jenis *fragile parts* dan *brittle materials*.
3. Benda kerja *non-rigid* dapat diproses dengan mudah.
4. Tidak bising selama proses pemesinan juga tidak adanya *cutting force* karena elektroda dan benda kerja tidak bersentuhan langsung.
5. Dapat mengerjakan bentuk kompleks yang sulit dikerjakan menggunakan metode konvensional.
6. Mampu memotong benda yang sangat kecil atau dengan sudut yang kecil.
7. Tidak ada kerusakan pada benda kerja akibat pengaruh panas dan tekanan (*thermal and mechanical stress*).
8. Tidak adanya keausan pemakaian pada elektroda pahat jadi lebih awet.
9. *Surface finish* yang baik.
10. ECM memiliki *time saving* yang lebih baik dibandingkan dengan mesin konvensional.

Dari beberapa kelebihan tersebut, ECM juga mempunyai kekurangan, antara lain:

1. Diperlukan daya yang cukup tinggi untuk pengoperasiannya.
2. Memerlukan waktu dan biaya tambahan untuk membuat elektroda sebagai alat potong pada ECM.
3. Elektrolit dapat mengakibatkan korosi pada benda kerja dan mesin itu sendiri.
4. Pengikisan material pada benda kerja tergantung dari energi yang dipakai selama proses pemesinan.

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

Apabila ada arus listrik melewati dua elektroda melalui cairan elektrolit maka akan terjadi elektrolisis. Reaksi kimia yang terjadi pada elektroda dinamakan reaksi anodis atau katodis. Dasar dari proses pemesinan ECM adalah disolusi anodis yang terjadi pada benda kerja.

Dinyatakan dalam hukum Faraday tentang elektrolisis bahwa:

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

$$m \sim I.t \quad (3.1)$$

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

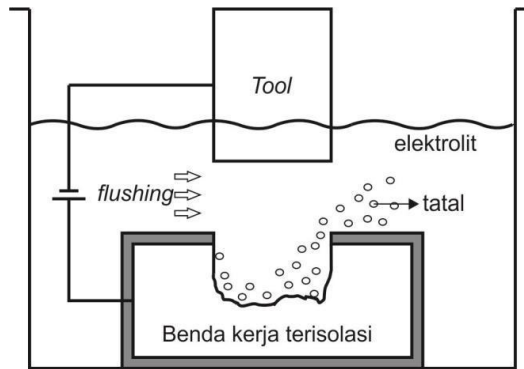
$$m \sim E \dots\dots\dots(3.2)$$

$$E = \frac{M}{Z} \dots\dots\dots(3.3)$$

dengan,

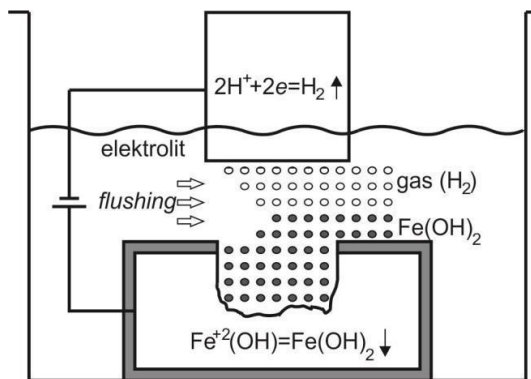
- I : arus listrik, Ampere (A)
- m : massa benda (g)
- t : waktu pemesinan, detik (s)
- E : berat kimia ekuivalen
- M : berat atom (g)
- Z : valensi benda kerja

Prinsip ECM yaitu proses pengerjaan material dengan cara pelarutan anodis (*anodic dissolution*) dari benda kerja oleh cairan elektrolit yang mengalir melalui celah (*gap*) antara benda kerja (anode) dan elektroda (katode), seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9. Benda kerja berperan sebagai anode yang dihubungkan dengan sumber arus searah bermuatan positif (DC +), sedangkan elektroda (*tool*) katode dihubungkan dengan sumber arus searah bermuatan negatif (DC -) dan cairan elektrolit dialirkan pada celah (*gap*) antara elektroda dan benda kerja.



Gambar 2.9. 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 katode seperti diilustrasikan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Reaksi proses pemesinan ECM pada besi (McGeough, 1988)

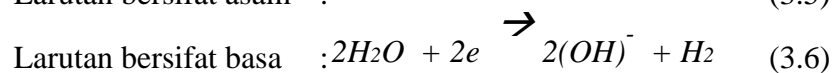
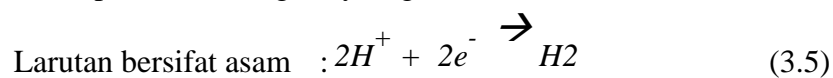
2.2.3. Reaksi kimia pada proses *Electro Chemical Machining* (ECM)

1. Pada Katode (elektroda):

a. Proses pelapisan pada ion-ion logam



b. Proses pembentukan gas hydrogen



2. Pada Anode (benda kerja)

a. Proses pelarutan dari ion metal di dalam cairan elektrolit

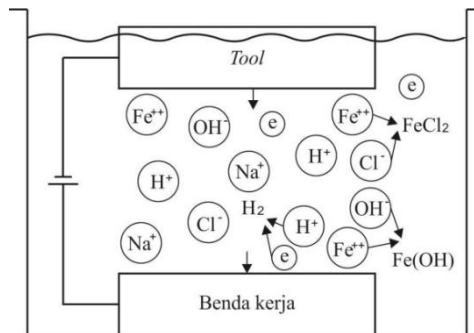


b. Proses pembentukan gas oksigen



c. Difusi, pergerakan ion akibat adanya medan listrik, seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.11.

d. Proses konveksi karena aliran elektrolit.



Gambar 2.11. Skema representatif reaksi pada ECM (Tlusty, 2000)

2.2.4. Proses Ideal Pada ECM

Terdapat kondisi ideal pada proses pemesinan ECM dan ditentukan sebagai berikut:

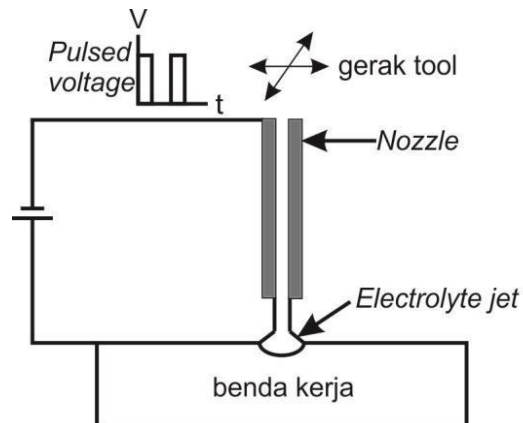
1. Hukum faraday mencakup seluruh proses pemesinan gap antar elektroda dan permukaannya.
2. Konduktivitas elektrik pada gap bernilai konstan terhadap waktu dan tempat.
3. Potensial pada masing – masing elektroda mempunyai nilai sama dengan permukaan dan selama proses pemesinan.
4. Efisiensi arus pada anoda sama besar dengan permukaan benda kerja.

2.2.5. Jenis *Electrochemical Machining* (ECM)

Adapun beberapa jenis *Electrochemical Machining* (ECM) berdasarkan kebutuhan permesinannya, antara lain:

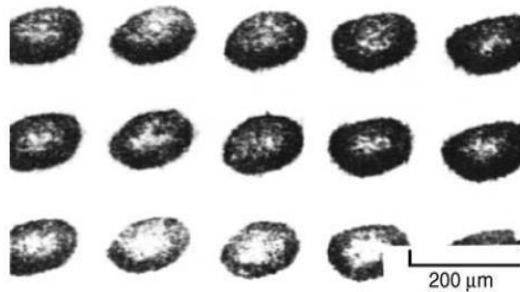
2.2.5.1 Micro-ECM

Electro Chemical Machining (ECM) dapat dikategorikan sebagai proses permesinan dengan akurasi rendah. Hal ini disebabkan oleh jarak antar elektroda (*gap*) saat permesinan yang lebih lebar dibandingkan mesin konvensional lainnya.



Gambar 2.12. *Electrolyte Jet* (El-Hofy, 2005)

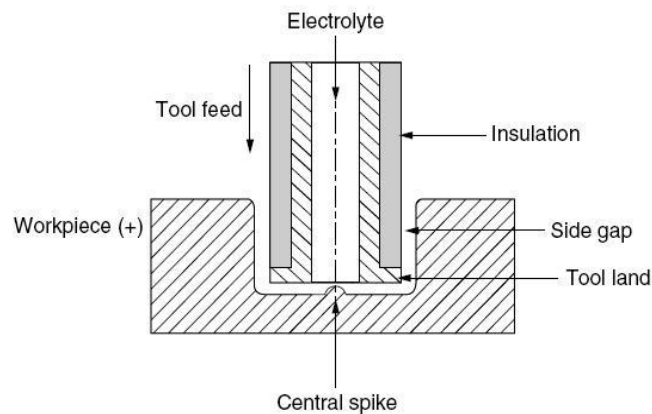
Pada *micro-ECM*, *tool* mikro yang digunakan adalah *electrolyte jet* seperti pada Gambar 2.12 di mana benda kerja yang bergerak terhadap *tool*-nya. Jenis arus yang digunakan pada *micro-ECM* adalah *pulse current* (arus kotak) yang dapat menghasilkan indentasi (cekungan) yang kecil saat permesinan. Indentasi pada pemesinan mikro dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13. Indentasi (cekungan) pada permesinan mikro (Masuzawa dan Tonshof, 1997)

2.2.5.2 *Electro Chemical Drilling (ECDR)*

Electro Chemical Drilling (ECDR) dapat menghasilkan diameter antara 1 sampai 2 mm dengan proses pemakanan 1 sampai 5 mm/menit. Dapat dilihat pada Gambar 2.14, pada ECDR menggunakan *tool* elektroda jenis *tubular* (pipa). Kemudian cairan elektrolit dialirkan melalui tengah *tool* dan keluar melalui celah (*gap*) antara *tool* dan benda kerja.

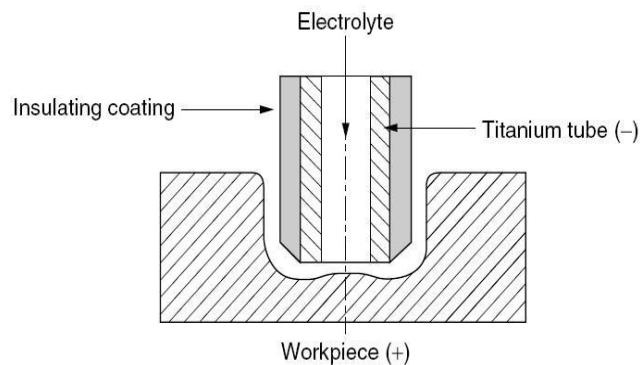


Gambar 2.14. Konfigurasi ECDR (El-Hofy, 2005)

Proses pemakanan benda kerja juga terjadi pada permukaan samping *tool* sehingga diameter lubang yang dihasilkan lebih besar daripada diameter *tool*. Agar *oversize* diameter yang dihasilkan rendah serta memperoleh akurasi yang tinggi disarankan menggunakan laju pemakanan (*feed rate*) yang tinggi. Dengan kondisi yang sama, *material removal rate (MRR)* dan *surface quality* yang dihasilkan akan lebih tinggi juga.

2.2.5.3 *Shaped Tube Electrolytic Machining (STEM)*

Prinsip dasar dari *Shaped Tube Electrolyte Machining (STEM)* adalah proses disolusi akibat adanya perbedaan tegangan listrik antara *tool* dan benda kerja. Adanya medan listrik pada elektroda dengan perantara elektrolit sehingga terjadi penghapusan material pada permukaan benda kerja.



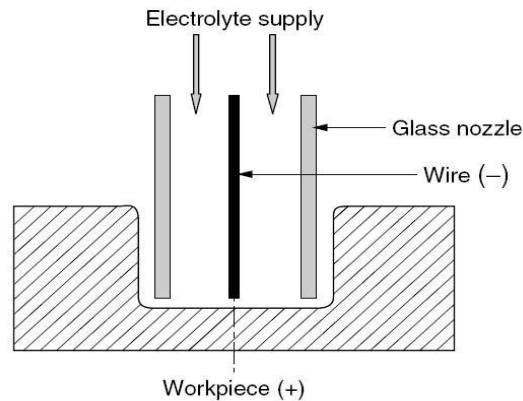
Gambar 2.15. Skema STEM (El-Hofy, 2005)

Dalam STEM sistem konfigurasinya sama dengan ECM, dapat dilihat pada Gambar 2.15. di atas. Akan tetapi pada sistem harus tahan terhadap asam (*acid resistant*), kekakuan tidak tinggi, dan memiliki *power supply* dengan polaritas yang bisa diubah secara periodik. Sebab dalam proses pemesinan pada STEM elektrolit yang digunakan bersifat asam, sehingga penggunaannya terbatas untuk material yang tahan terhadap korosi (*corrosion resistant materials*). Adapun beberapa pengaplikasian pemesinan STEM seperti pada komponen mesin jet dan turbin gas : Lubang pendingin pada sudu turbin, *Fuel Nozzle*, Pengeboran alur pelumasan pada *bearing*.

2.2.5.4 *Electrostream (Capillary) Drilling*

Electrostream (Capillary) Drilling merupakan pengembangan dan teknik khusus dari ECM yang digunakan untuk menghasilkan lubang (*holes*) yang baik dimana terlalu dalam apabila menggunakan EDM dan terlalu kecil jika menggunakan STEM. *Tool* yang digunakan adalah *glass nozzle* (diameter 0,025-0,50 mm).

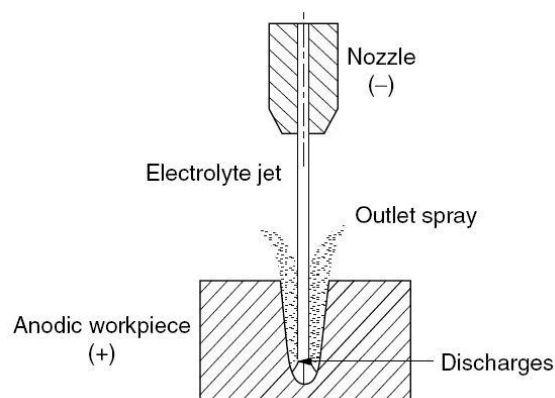
Untuk mengkonduksikan arus pemesinan menuju elektrolit, digunakan kawat platina yang terpasang di dalam *glass nozzle*. Skema *Electrostream (Capillary) Drilling* dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16. Skema *Electrostream (Capillary) Drilling* (El-Hofy, 2005)

2.2.5.5 *Electro Chemical Jet Drilling (ECJD)*

Electro Chemical Jet Drilling (ECJD) digunakan dalam pembuatan lubang yang lebih kecil dari hasil proses pemesinan *electrostream (Capillary) Drilling*. Proses pemesinannya dapat dilihat pada Gambar 2.17. dimana *nozzle* berperan sebagai katodenya.



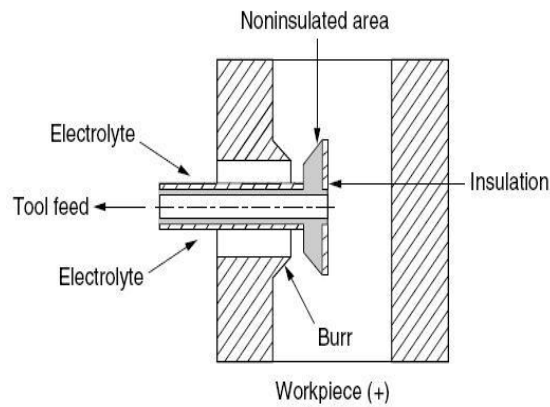
Gambar 2.17. *Electro Chemical Jet Drilling* (El-Hofy, 2005)

Khusus *Electrochemical Jet Drilling*, tegangan listrik yang digunakan sebesar 400 sampai 800 Volt. Pada umumnya, lubang yang dihasilkan oleh proses pemesinan ECJD lebih besar daripada *Electrolyte Jet* sebab proses disolusi pada ECJD dibantu dengan tekanan elektrolit dari *nozzle*.

2.2.5.6 *Electro Chemical Deburring (ECDB)*

Electro Chemical Deburring (ECDB) digunakan untuk menghilangkan *burr* hasil dari proses pengeboran. *Burr* merupakan sisa material dari proses

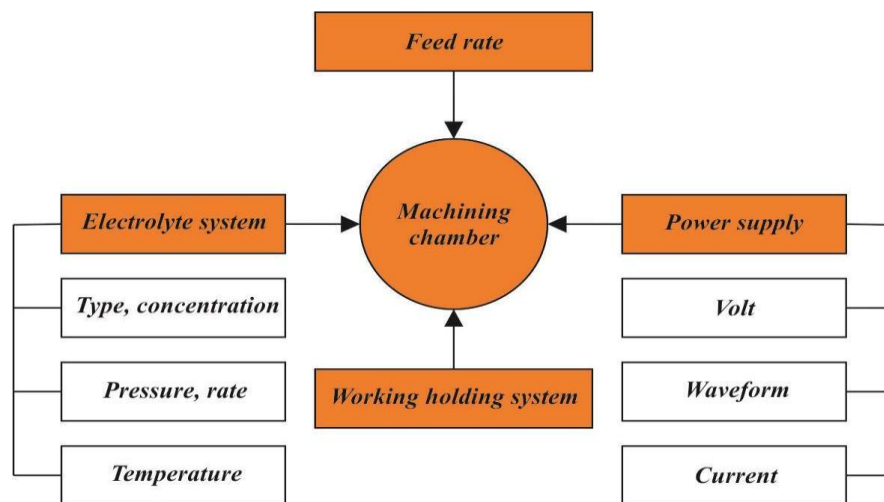
manufaktur pada komponen mesin yang tidak diinginkan. Mekanisme *deburring* pada ECDB ditunjukkan pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18. Mekanisme ECDB (El-Hofy, 2005)

2.2.6. Peralatan *Electro Chemical Machining*

Komponen utama pada mesin ECM yaitu sistem kontrol pemakanan, elektrolit, *power supply*, dan pemegang benda kerja seperti yang ditunjukkan Gambar 2.19. berikut.



Gambar 2.19. Komponen sistem pada ECM (El-Hofy, 2005)

2.2.6.1. Power Supply

Power supply unregulated yang digunakan dalam penelitian ini memiliki spesifikasi berikut ini:

1. tegangan 2-80 Volt (kontinu atau *pulse*).
2. kisaran arus antara 5-50 *ampere*.
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.

2.2.6.2. Elektrolit

Fungsi utama elektrolit pada proses pemesinan ECM adalah:

- a. menciptakan kondisi *anodic dissolution* pada benda kerja.
- b. mengonduksikan arus saat pemesinan.
- c. menghilangkan *debris* hasil reaksi dari proses ECM.
- d. memindahkan panas (*dissipation*) yang dihasilkan oleh proses pemesinan.
- e. mempertahankan suhu agar tetap konstan.

Elektrolit yang umum digunakan yaitu Natrium Klorida (NaCl), Natrium Nitrat (NaNO_3), dan Natrium Hidroksida (NaOH).

Tabel 2.1. Elektrolit dan laju permesinan berbagai benda kerja
(*Metals Handbook*, 1989)

<i>Work material</i>	<i>Electrolyte</i>		Removal rate, $\text{mm}^3/(\text{min}\cdot\text{A})$
	<i>Constituent</i>	<i>Concentration g/L H₂O</i>	
<i>Grey iron</i>	NaCl	300	2,0
	NaNO_3	600	2,0
<i>White cast iron</i>	NaNO_3	600	1,6
<i>Steel; hardened tool Steel</i>	NaClO_3	780	2,0
<i>Steel; iron-, and nickel-, and cobalt- base alloy</i>	NaNO_3	600	2,1
	NaCl or KCl	300	2,1
<i>Copper & copper Alloy</i>	NaCl or KCl	300	4,4
	NaNO_3	600	3,3
<i>Tungsten</i>	NaOH	180	1,0
<i>Titanium alloy</i>	NaCl or KCl	120	1,6
<i>Molybdenum</i>	NaOH	180	1,0

2.2.6.3. Tool elektroda

Pada permesinan ECM membutuhkan *Tool* elektroda yang tahan terhadap karat dan mampu menghantarkan listrik. Sebaiknya material yang digunakan bersifat anti-karat, mempunyai konduktivitas termal dan konduktivitas listrik yang baik. Akurasi dimensional dan *surface finish* pada *tool* elektroda sangat berpengaruh terhadap akurasi dan *surface finish* pada benda kerja. Beberapa material yang sering digunakan sebagai elektroda pemesian ECM adalah aluminium, kuningan, tembaga, karbon, perak, *stainless steel*, dan monel. Adapun material *tool* elektroda yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kuningan.

Kuningan adalah logam paduan tembaga (Cu) dan seng (Zn) dengan kadar tembaga antara 60% sampai 96% massa total logam tersebut, kuningan memiliki konduktivitas listrik dan termal yang baik.



Gambar 2.20. *Tool* / elektroda kuningan

2.2.6.4. Benda kerja (*workpiece*)

Benda kerja yang dapat dikerjakan dengan mesin ECM haruslah mampu menghantarkan listrik. Beda potensial yang terkandung dalam unsur benda kerja sangat berpengaruh pada terciptanya efisiensi arus saat permesinan. Selain itu, benda kerja yang diproses dengan pemesian ECM dituntut mampu mendapat perlakuan panas. Pada penelitian ini material benda kerja yang digunakan adalah plat baja ss 304, seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.21.



Gambar 2.21. Plat baja SS 304

Plat baja stainless steel 304 adalah jenis baja tahan karat yang dibuat untuk diaplikasikan sebagai alat kimia, dan alat pengolahan makanan. Plat Baja SS304 memiliki kekuatan yang baik pada suhu yang sangat tinggi ataupun rendah dan tahan terhadap korosi. Berdasarkan ASTM A240, komposisi kimia dari plat baja SS304, yaitu terdiri dari Carbon (C) 0,08%, Mangan (Mn) 2%, Silicon (Si) 0,75%, Phosphor (P) 0,04%, Sulfur (S) 0,03%, Chrom (Cr) 20%, Nickel (Ni) 10 sampai 20% , Nitrogen (N) 0,1%. Material ini merupakan jenis baja tahan karat austenitik terdiri dari besi, 16% sampai 26% krom, 35% nikel dan 0,25% karbon.

2.2.7 Material Removal Rate (MRR)

MRR adalah jumlah massa material benda kerja yang terkikis per satuan waktu. Secara teoritis MRR dapat dihitung berdasarkan prinsip Faraday tentang elektrolisis menggunakan persamaan di bawah ini :

$$m = \frac{I.t}{F} = \frac{M.I.t}{2.F} \dots\dots\dots(3.10)$$

$$MRR = \frac{m}{t} = \frac{M.I}{2.F} \dots\dots\dots(3.11)$$

dengan,

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

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

Namun secara aktual besarnya MRR dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$MRR = \frac{m_0 - m_t}{t} \dots\dots\dots(3.12)$$

dimana,

- 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)

2.2.8 Overcut

Overcut adalah penyimpangan yang ditunjukkan dengan ukuran lubang hasil drilling melebihi ukuran dari pahat yang digunakan. Akan tetapi *overcut* pada ECM tidak dapat dihilangkan 100%, sebab *overcut* pada pemesinan berguna untuk laju sirkulasi cairan elektrolit dan juga untuk menghindari *elektrode* pahat bersentuhan langsung dengan benda kerja yang mengakibatkan hubung arus singkat (*short circuit*). Akan tetapi jika *overcut* yang dihasilkan terlampaui besar akan berpengaruh terhadap menurunnya kualitas produk yang dihasilkan.

Nilai *overcut* merupakan hasil dari luasan setelah pemesinan dikurangi dengan luasan bagian yang tidak tertutup stiker marking dimana dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$O_c = d_2 - d_0 \dots \dots \dots (2.13)$$

Dengan,

O_c : *overcut*, milimeter (mm)

d_2 : luasan hasil pemesinan ECM bagian depan *workpiece*, milimeter (mm)

d_0 : luasan bagian yang tidak tertutup stiker, milimeter (mm)

2.2.9 Analysis Of Variance

Anova merupakan metode untuk menguji perbedaan antara rata-rata dengan menganalisis variansinya. Dalam analisis, terdapat beberapa asumsi yang digunakan, yaitu :

1. Populasi memiliki varians yang sama.
2. Populasi terdistribusi normal.
3. Setiap nilai dari sampel independen terhadap nilai lainnya.

Beberapa hal yang dihitung dalam ANOVA adalah *degree of freedom* (df), *sum of square* (SS), dan *mean square* (MS) serta F hitung. Ringkasan dari perhitungan ANOVA untuk tiga factor dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 *One Way ANOVA*

Source Of Varian	SS	Df	Mean Square	Fratio
Between/grup	SSB/SSG	k-1	$MSB = \frac{SSG}{k-1}$	$F = \frac{MSB}{MSW}$
Withtin/error	SSW/SSE	n-k	$MSW = \frac{SSW}{n-1}$	
total	SST	n-1		

2.2.10 Rasio S/N

Rasio S/N (*signal to noise*) digunakan untuk mengetahui level factor mana yang berpengaruh pada hasil eksperimen. Terdapat dua jenis perhitungan yang sering digunakan. *Smaller is better* digunakan ketika semakin kecil keluaran dari penelitian akan semakin baik.

$$SN = -10 \times \log \left(\frac{\sum y^2}{n} \right) \dots\dots\dots(2.14)$$

Sedangkan *large is better* digunakan ketika semakin besar keluaran dari penelitian akan semakin baik.

$$SN = -10 \times \log \left(\frac{\sum \frac{1}{y^2}}{n} \right) \dots\dots\dots(2.15)$$