

BAB II

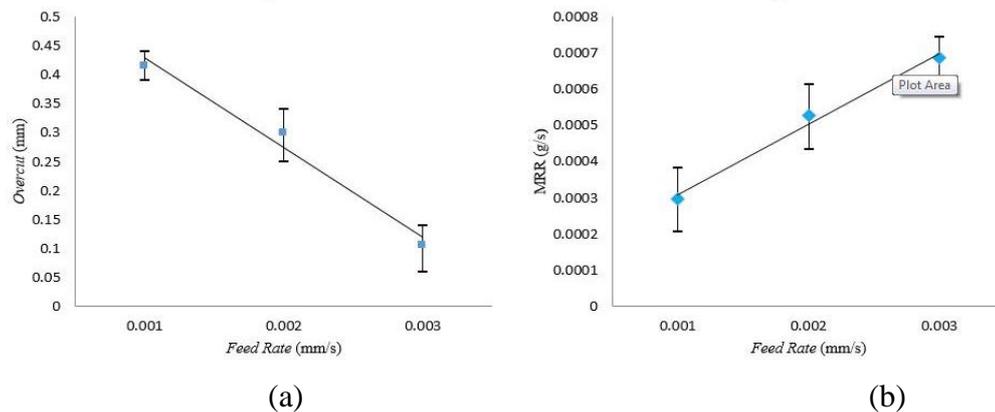
KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Kajian Pustaka

Penelitian yang dilakukan oleh Budiman, (2012) tentang variasi nilai konsentrasi larutan pengaruhnya terhadap *overcut*, nilai *Material Removal Rate* (MRR) dan efek ketirusan pada pemesinan ECM. Pada penelitian ini benda kerja yang digunakan adalah SKD 11 yang biasa digunakan untuk pembuatan *punch*, *dies*, *cutting tool*, dan proses lainnya yang membutuhkan sifat tahan aus yang tinggi dengan panjang 100 mm, lebar 36,80 mm dan tebal 4,2 mm. Material pahat yang digunakan dalam percobaan ini adalah tembaga (Cu) berbentuk silinder berlubang dengan diameter dalam 9 mm dan diameter luar 10 mm. Pemilihan tembaga sebagai material dari pahat karena tembaga mempunyai sifat penghantaran listrik yang baik dan material tersebut mudah didapatkan. Kesimpulannya semakin besar nilai konsentrasi larutan maka MRR yang terjadi akan semakin besar. Hal ini mengacu pada reaksi kimia antara NaCl dan H₂O. Dimana dengan semakin pekatnya konsentrasi larutan yang terbentuk dari reaksi antara NaCl dan H₂O maka kadar asam (HCl) yang terbentuk juga akan meningkat. Selain itu semakin besar nilai konsentrasi maka waktu pemesinan akan semakin turun. Hal ini berarti bahwa waktu yang dibutuhkan untuk proses pemesinan akan lebih cepat untuk nilai konsentrasi yang lebih tinggi. Nilai konsentrasi yang tinggi akan mempengaruhi MRR tiap menit, dimana semakin tinggi nilai konsentrasi maka MRR yang terjadi juga akan naik. Hal inilah yang mempengaruhi waktu pemesinan yang semakin cepat seiring bertambahnya nilai konsentrasi larutan karena material yang dilepaskan dari logam induk semakin banyak dan cepat.

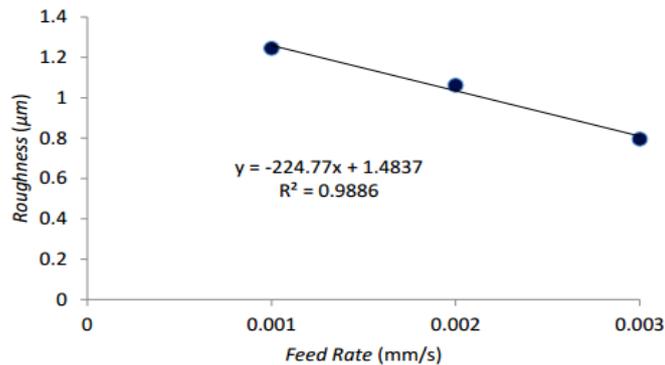
Penelitian lainnya (Permana, 2012) yang mempelajari tentang pengaruh besarnya *feed rate* terhadap MRR, *overcut*, dan *surface roughness* yang terjadi setelah pemesinan berlangsung. Penelitian ini menggunakan *tool* elektoda aluminium, benda kerja *stainless steel* J-430, *working gap* 0,5 mm, cairan elektrolit menggunakan NaCl. Hasilnya menjelaskan bahwa besarnya MRR yang

terjadi pada benda kerja berbanding lurus dengan besarnya *feed rate* yang digunakan saat pemesinan berlangsung. Hal ini disebabkan oleh jarak gap antara *tool* elektroda dan benda kerja menjadi semakin kecil, sehingga efisiensi arus pemesinan pun bertambah tinggi. Sebaliknya, *overcut* yang terjadi pada benda kerja berbanding terbalik dengan besarnya *feed rate* pemesinan karena semakin tinggi *feed rate* yang digunakan maka semakin cepat waktu pemesinan, *overcut* yang terbentuk akan semakin kecil. Hal ini disebabkan oleh semakin cepat waktu pemesinan untuk mencapai kedalaman tertentu, maka semakin sedikit material yang terlepas sehingga *overcut* yang dihasilkan semakin kecil. Hasil MRR dan *overcut* yang terbentuk dari penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 2.1.



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

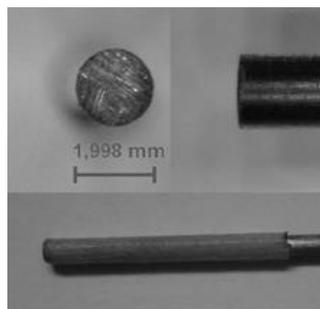
Hasil *surface roughness* pada penelitian ini menunjukkan bahwa laju pemakanan (*feed rate*) berbanding terbalik terhadap *surface roughness stainless steel*, dimana semakin tinggi laju pemakanan maka semakin kecil *surface roughness* yang dihasilkan pada proses pemesinan ECM, begitu pula sebaliknya. Hasil *surface roughness* yang terbentuk ditunjukkan oleh Gambar 2.2.



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

Lapisan garam (*salt layer*) pada proses pemesinan ECM dapat mengganggu distribusi arus pemesinan sehingga kekasaran permukaan menjadi tinggi. Proses ECM *portable* pada penelitian ini menggunakan elektrolit NaCl. Oleh karena itu, garam perlu dihilangkan dengan memecahnya menjadi ion Na⁺ dan Cl⁻. Semakin tinggi efisiensi arus pemesinan yang dihasilkan maka garam yang hilang menjadi ion akan semakin banyak dan distribusi arus pada elektrolit menjadi semakin merata.

Studi eksperimental lain dilakukan oleh Sudiarso dkk, (2013) dengan benda kerja plat kuningan, *stainless steel 204*, dan aluminium 1100, dimana semua benda kerja mempunyai ketebalan 1 mm. Sedangkan elektroda berdiameter 2 mm dengan bahan kuningan, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3.



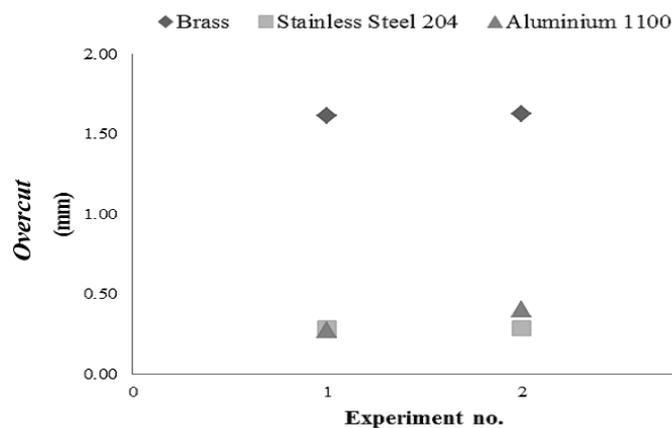
Gambar 2.3 Elektroda kuningan (Sudiarso dkk, 2013)

Tegangan dijaga konstan pada 15 volt selama percobaan, *flow rate* pada elektrolit sebesar 6 m/s, gap 0.5 mm diantara elektroda dan benda kerja. Pemesinan membutuhkan waktu 5.5 menit untuk setiap bahan. Hasil dari pemesinan dapat dilihat dari tabel 2.1, sementara perbandingan antara material

dalam bentuk grafis ditunjukkan pada Gambar 2.4.

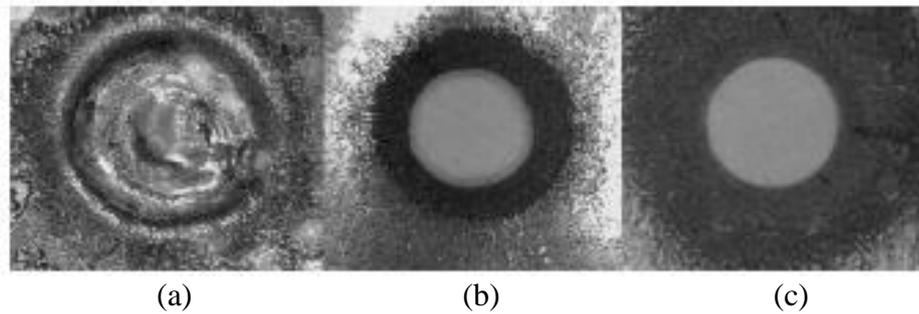
Tabel 2.1 *Overcut* rata-rata dengan elektroda kuningan berdiameter 2 mm
(Sudiarso dkk, 2013)

NO	Jenis Material	<i>Overcut</i> rata-rata (mm)	Sudut <i>overcut</i> rata-rata (°)
1	Kuningan	1.62	61
2	<i>Stainless steel</i> 204	0.30	43
3	Aluminium 1100	0.33	42



Gambar 2.4 Perbandingan *overcut* (Sudiarso dkk, 2013)

Hasil lubang yang telah dilakukan proses pemesinan ditunjukkan pada Gambar 2.5. Diantara ketiga bahan ini, hanya material kuningan yang belum menghasilkan lubang, hal ini disebabkan kuningan membutuhkan lebih banyak waktu untuk membuat lubang karena *overcut* rata-rata jauh lebih besar dari *stainless steel* dan aluminium. Perlu sekitar 11 menit untuk menghasilkan lubang dari ketebalan 1 mm pada kuningan. Elektroda dan benda kerja terbuat dari bahan yang sama, maka sering terjadi percikan api, bunga api mempengaruhi hasil mesin. Seperti yang ditunjukkan Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Hasil lubang pemesinan menggunakan ECM dengan benda kerja (a) kuningan (b) *stainless steel* (c) aluminium (Sudiarso dkk, 2013)

Percobaan lebih lanjut telah dilakukan dengan mengubah diameter *tool* elektroda kuningan menjadi 6 mm. Hasil proses pemesinan ditunjukkan pada tabel 2.2. Untuk durasi waktu proses mesin yang sama, yaitu 5.5 menit, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6 rata-rata diameter lubang pada material aluminium yang dihasilkan adalah 7.72 mm, sehingga rata-rata *overcut* sebesar 0.86 mm. Kemudian, jika *overcut* tersebut dibandingkan dengan diameter elektroda sekitar 14.36%. Hasil ini tidak menghasilkan banyak perbedaan dari persentase pada percobaan menggunakan elektroda 2 mm sebesar 16.50% seperti ditunjukkan pada tabel 2.3. Namun, untuk *stainless steel*, persentase *overcut* dengan diameter elektroda memiliki perbedaan yang signifikan jika menggunakan elektroda diameter 2 mm dan 6 mm. *Stainless steel* cenderung mempertahankan *overcut*, seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.2

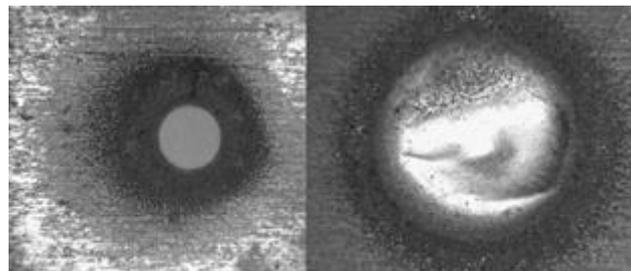
Tabel 2.2 Perbandingan *overcut* rata-rata dan sudut *overcut* rata-rata (Sudiarso dkk, 2013)

NO	Diameter (mm)	Jenis Material	<i>Overcut</i> rata-rata (mm)	Sudut <i>Overcut</i> rata-rata (°)
1	2	<i>Stainless steel</i> 204	0.30	43
		Aluminium 1100	0.33	42
2	6	<i>Stainless steel</i> 204	0.40	46
		Aluminium 1100	0.86	43

Tabel 2.3 Perbandingan *overcut* rata-rata dan presentase
(Sudiarso dkk, 2013)

NO	Diameter (mm)	Jenis Material	<i>Overcut</i> rata-rata (mm)	Persentase (%)
1	2	<i>Stainless steel</i> 204	0.30	15.12
		Aluminium 1100	0.33	16.50
2	6	<i>Stainless steel</i> 204	0.40	6.67
		Aluminium 1100	0.86	14.36

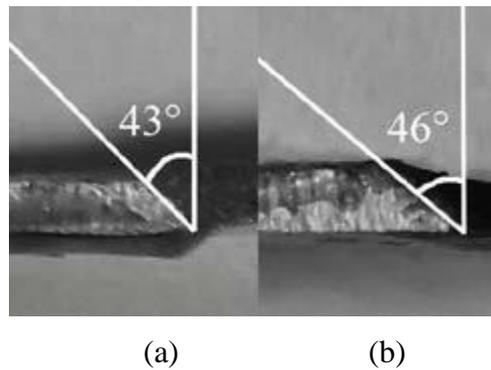
Sudut *overcut* ditampilkan pada Gambar 2.7 dan 2.8. Dari Gambar 2.6 pada material *stainless steel* menggunakan elektroda 2 mm sudut disebelah kiri sebesar 43° , sedangkan sudut disebelah kanan menggunakan elektroda 6 mm sebesar 46° . Sementara itu, dari Gambar 2.7 pada material aluminium menggunakan elektroda 2 mm sudut disebelah kiri sebesar 42° , sedangkan sudut di sebelah kanan menggunakan elektroda 6 mm sebesar 43° .



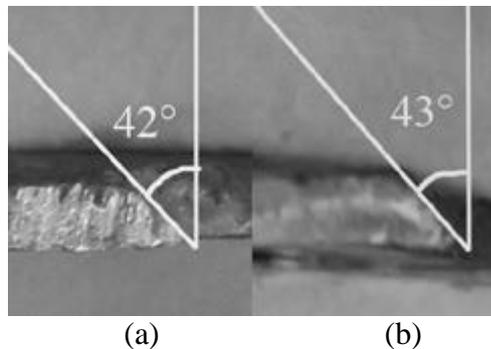
(a)

(b)

Gambar 2.6 Hasil lubang material aluminium (a) diameter 2 mm dan (b) diameter 6 mm menggunakan elektroda kuningan (Sudiarso dkk, 2013)



Gambar 2.7 Sudut *overcut* material *stainless steel* (a) diameter 2 mm dan (b) diameter 6 mm menggunakan elektroda kuningan (Sudiarso dkk, 2013)



Gambar 2.8 Sudut *overcut* material aluminium (a) diameter 2 mm dan (b) diameter 6 mm menggunakan elektroda kuningan (Sudiarso dkk, 2013)

Dari hasil kajian pustaka tersebut maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

Semakin besar nilai konsentrasi maka nilai MRR akan semakin besar. Semakin besar nilai konsentrasi maka waktu pemesinan akan semakin turun atau semakin singkat (Budiman, 2012). Besarnya MRR yang terjadi pada benda kerja berbanding lurus dengan besarnya *feed rate*. Sebaliknya, *overcut* yang terjadi pada benda kerja berbanding terbalik dengan besarnya *feed rate*. *Surface roughness* yang dihasilkan pada pemesinan juga berbanding terbalik dengan laju pemakanan / *feed rate* (Permana, 2012).

Material aluminium dan *stainless steel* memiliki kesamaan nilai *overcut* rata-rata, sementara pada material kuningan memiliki perbedaan *overcut* rata-rata yang signifikan hingga 5 kali lebih tinggi dibandingkan 2 material tersebut. Pada material kuningan perlu waktu yang lebih lama untuk menghasilkan lubang dibandingkan material aluminium dan *stainless steel*. *Tool* dan benda kerja

berbahan sama sering menciptakan percikan api sehingga bunga api mempengaruhi hasil pemesinan. Namun sebaliknya dengan *tool* dan benda kerja yang berbahan berbeda, waktu pemesinan yang dibutuhkan lebih cepat. Semakin besar diameter elektroda, semakin besar pula *overcut* yang dihasilkan. Hal ini disebabkan luas permukaan elektroda semakin besar seiring besarnya diameter tersebut. Semakin besar diameter elektroda, membutuhkan arus yang lebih tinggi selama proses pemesinan (Sudiarso dkk, 2013).

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah perbedaan material benda kerja yang digunakan, untuk mengetahui hasil pemesinan ECM pada material tersebut. Material yang digunakan adalah tembaga sebagai elektroda dan *stainless steel* sebagai benda kerja. Penulis meneliti hasil pemesinan ECM *portable* menggunakan *tool* elektroda terisolasi statis dengan variabel variasi tegangan dan jarak celah (*gap*) yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi tegangan dan *gap* terhadap MRR, *overcut*, dan efek tirus pada material *stainless steel* 304 dan aluminium 1100 hasil *drilling* proses ECM.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. *Electro Chemical 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 adalah suatu proses kimia yang mana terjadi ketika ada arus listrik yang melewati dua elektroda yang terbenam di dalam larutan elektrolit. Contoh dari proses elektrolisis adalah *electro-plating* dan *electro-polishing*. Bentuk penghapusan atom, dalam hal ini disebut *Material Removal Rate* (MRR), yang ada di permukaan benda kerja bergantung pada bentuk dan gerakan alat terhadap benda kerja. Selain itu, parameter yang mempengaruhi MRR adalah kerapatan arus dan jarak *gap* yang

dibentuk antara benda kerja dengan *tool*. Oleh karena itu suplai arus yang tinggi dibutuhkan untuk memperoleh MRR yang tinggi.

ECM memanfaatkan reaksi kimia melalui pelepasan muatan listrik sehingga terjadi pelarutan anodis dari material benda kerja (anode) oleh elektroda (katode) yang keduanya bersifat konduktif (menghantarkan listrik). Listrik dengan kuat arus tinggi dan bertegangan rendah digunakan untuk melarutkan partikel logam dan mengikisnya dari benda kerja. Sumber tegangan yang digunakan adalah arus DC melalui perantara reaksi cairan elektrolit yang mengalir pada celah (*gap*) antara benda kerja dan elektroda. ECM biasa digunakan untuk proses pemesinan material yang mempunyai tingkat kekerasan sangat tinggi serta sulit dikerjakan dengan metode konvensional.

Pemesinan menggunakan ECM mempunyai beberapa kelebihan, antara lain:

1. Mampu melakukan permesinan pada benda kerja dengan kekerasan material yang tinggi karena prosesnya tidak dipengaruhi oleh kekerasan bahan benda kerja,
2. Pemesinan pada benda kerja jenis *fragile parts* dan *brittle materials* sangat aman menggunakan ECM,
3. Benda kerja *non-rigid* dapat diproses dengan mudah,
4. Tidak ada *cutting force* karena elektroda dan benda kerja tidak bersentuhan,
5. Mampu membuat bentuk yang kompleks yang sulit dikerjakan dengan metode konvensional,
6. Dapat digunakan untuk memotong benda yang sangat kecil atau dengan sudut yang kecil,
7. Tidak ada kerusakan akibat pengaruh panas dan tekanan (*thermal and mechanical stress*) pada benda kerja,
8. Elektroda atau pahat lebih awet karena tidak ada keausan pemakaian,
9. *Surface finish* yang baik,
10. Dibandingkan dengan mesin konvensional, ECM memiliki *time saving* yang lebih baik,
11. Proses pemesinan tidak bising (*smooth*).

Di samping kelebihan tersebut, ECM mempunyai banyak kekurangan, antara lain:

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

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

Apabila arus listrik melewati dua elektroda melalui cairan elektrolit maka akan terjadi elektrolisis. Sistem elektrolit dan cairan elektrolit dinamakan sel elektrolisis. Reaksi kimia yang terjadi pada elektroda dinamakan reaksi anodis atau katodis. Disolusi anodis yang terjadi pada benda kerja merupakan dasar dari proses pemesinan ECM pada logam.

Dalam hukum Faraday tentang elektrolisis dinyatakan bahwa:

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

$$m \approx Q. \dots\dots\dots(2.1)$$

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

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

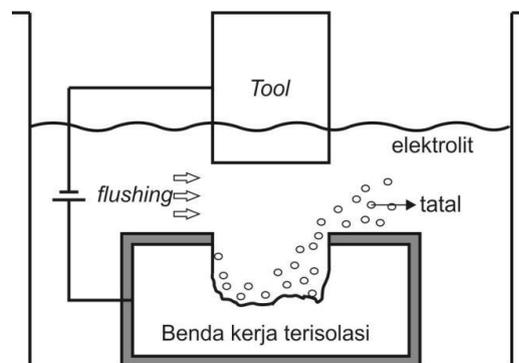
$$m \sim E \dots\dots\dots(2.3)$$

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

dengan,

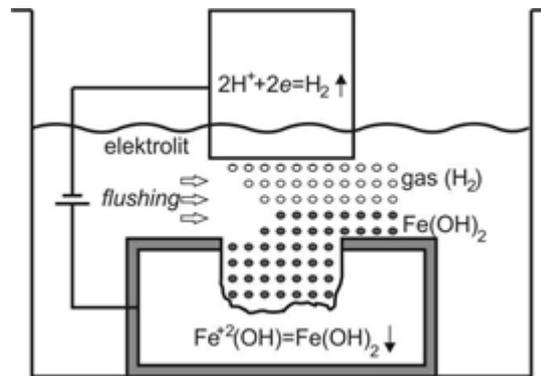
I	: arus listrik, Ampere (A)
m	: massa benda (g)
Q	: jumlah muatan listrik (mol)
t	: waktu pemesinan, detik (s)
E	: berat kimia ekuivalen
M	: massa atom relatif (g)
Z	: valensi benda kerja

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 yang bertindak sebagai anode dihubungkan dengan sumber arus searah bermuatan positif (DC +), sedangkan elektroda (*tool*) katode dihubungkan dengan sumber arus searah bermuatan negatif (DC -) dan cairan elektrolit dialirkan di 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.

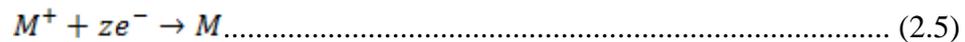


Gambar 2.10. Reaksi proses pemesinan ECM pada besi (McGeough, 1988)

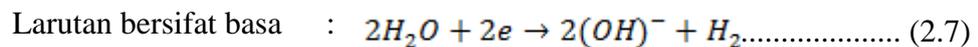
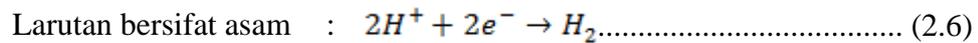
2.2.3. Reaksi kimia pada proses *Electro Chemical Machining* (ECM)

1. Pada Katode (elektroda):

- a Proses pelapisan pada ion-ion logam



- b Proses pembentukan gas hydrogen

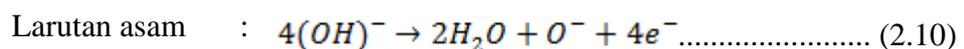
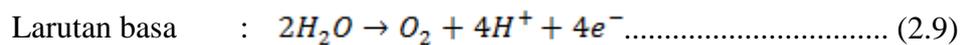


2. Pada Anode (benda kerja)

- a Proses pelarutan dari ion metal di dalam cairan elektrolit

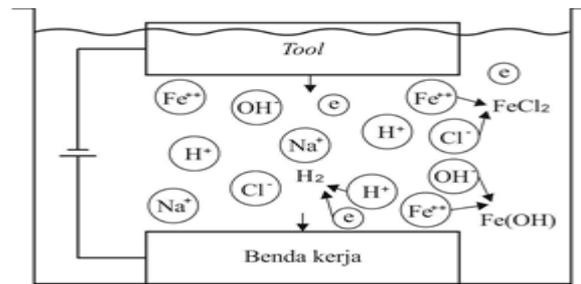


- b Proses pembentukan gas oksigen



- 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

Pada proses pemesinan ECM terdapat kondisi ideal yang ditentukan sebagai berikut:

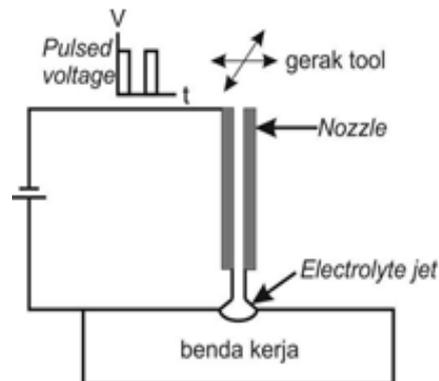
1. hukum faraday mencakup seluruh proses pada *gap* antar elektroda dan permukaan benda kerja,
2. pergerakan ion dan transfer elektron yang mengakibatkan disolusi pada permukaan benda kerja,
3. konduktivitas elektrik dan termal pada tengah-tengah *gap* bernilai konstan terhadap waktu dan tempat,
4. beda potensial, hambatan, efisiensi arus memiliki nilai yang tetap pada setiap titik permukaan benda kerja,
5. adanya *flushing* yang berfungsi untuk pendingin, medium elektrolisis, dan penghapusan tatal.

2.2.5. Jenis *Electrochemical Machining* (ECM)

Electrochemical Machining (ECM) terbagi menjadi beberapa jenis berdasarkan kebutuhan pemesinan yang diperlukan, antara lain:

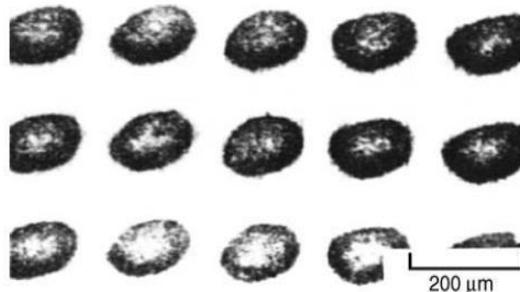
1. *Micro-ECM*

Electro Chemical Machining (ECM) biasanya dikategorikan sebagai proses pemesinan dengan akurasi yang rendah. Hal ini dikarenakan jarak antar elektroda (*gap*) pemesinannya yang lebih lebar dibandingkan mesin konvensional lainnya.



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

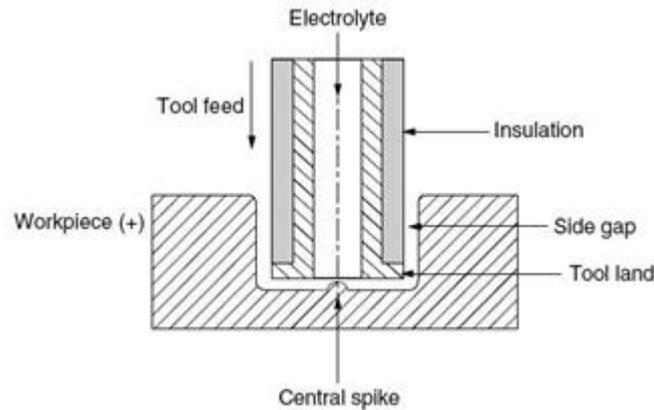
Pada *micro-ECM*, *tool* mikro yang digunakan adalah *electrolyte jet* seperti pada Gambar 2.12 di mana benda kerja yang bergerak terhadap *tool*-nya. Jenis arus yang digunakan pada *micro-ECM* adalah *pulse current* (arus kotak) yang dapat menghasilkan indentasi (cekungan) yang kecil saat pemesinan.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



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

2. *Electro Chemical Drilling* (ECDR)

Diameter yang dihasilkan pada *Electro Chemical Drilling* (ECDR) berkisar antara 1 sampai 2 mm dengan laju pemakanan 1 sampai 5 mm/menit. Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.14, *tool* elektroda yang digunakan pada ECDR adalah elektroda jenis *tubular* (pipa). Cairan elektrolit kemudian dipompakan melalui tengah *tool* dan keluar melalui celah (*gap*) antara *tool* dan benda kerja.

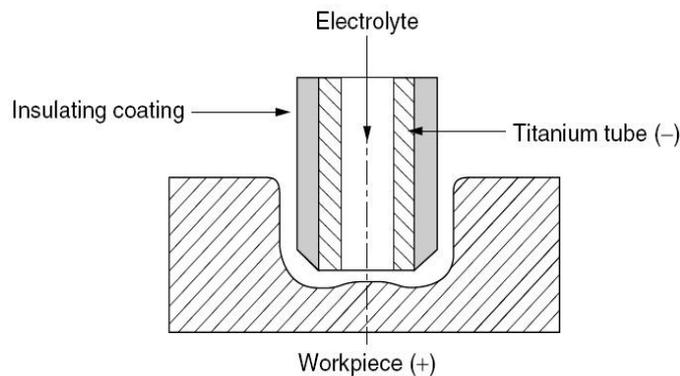


Gambar 2.14. Konfigurasi ECDR (El-Hofy, 2005)

Proses pemakanan benda kerja juga terjadi pada arah lateral yaitu antara permukaan samping *tool* dan permukaan benda kerja di dekatnya sehingga diameter lubang yang dihasilkan lebih besar daripada diameter *tool*. Untuk hasil permesinan dengan *oversize* diameter yang rendah serta akurasi tinggi disarankan menggunakan laju pemakanan (*feed rate*) yang tinggi. Dengan kondisi yang sama, *material removal rate* (MRR) dan *surface quality* yang dihasilkan pun lebih tinggi.

3. *Shaped Tube Electrolytic Machining* (STEM)

Proses disolusi akibat adanya perbedaan tegangan listrik di antara *tool* dan benda kerja merupakan prinsip dasar *Shaped Tube Electrolyte Machining* (STEM). Adanya medan listrik di antara elektroda dengan perantara elektrolit menyebabkan terjadinya penghapusan material pada permukaan benda kerja.



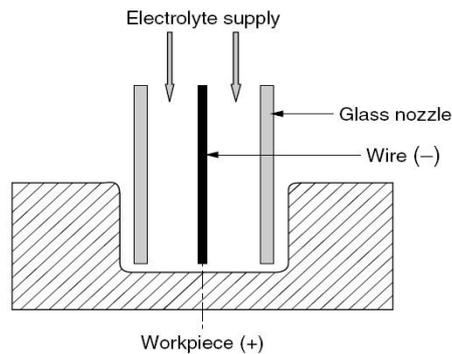
Gambar 2.15. Skema STEM (El-Hofy, 2005)

Sistem konfigurasi permesinan pada STEM adalah sama dengan ECM, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.15 di atas. Namun sistem harus tahan terhadap asam (*acid resistant*), kekakuan tidak tinggi, dan memiliki *power supply* dengan polaritas yang dapat diubah secara periodik. Karena proses permesinan pada STEM menggunakan elektrolit yang bersifat asam, maka penggunaannya terbatas untuk material yang tahan terhadap korosi (*corrosion resistant materials*). Diameter *oversize* lubang yang dihasilkan STEM lebih kecil daripada ECDR. Aplikasi permesinan STEM misalnya pada komponen mesin jet dan turbin gas seperti: Lubang pendingin pada sudu turbin, *Fuel Nozzle*, Pengeboran alur pelumasan pada *bearing* dimana penggunaan EDM dapat menyebabkan *crack*.

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).

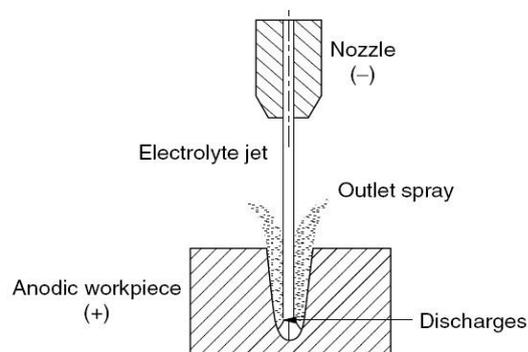
Untuk mengkonduksikan arus pemesinan menuju elektrolit, digunakan kawat platina yang terpasang di dalam *glass nozzle*. Skema *Electrostream (Capillary) Drilling* dapat dilihat pada Gambar 2.16.



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

5. *Electro Chemical Jet Drilling (ECJD)*

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



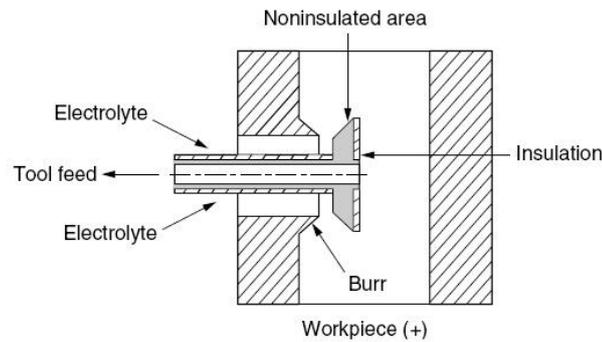
Gambar 2.17. *Electro Chemical Jet Drilling* (El-Hofy, 2005)

Khusus *Electrochemical Jet Drilling*, besar tegangan listrik yang digunakan yaitu antara 400 sampai 800 Volt. Umumnya, lubang yang dihasilkan oleh ECJD lebih besar daripada *Electrolyte Jet* karena proses disolusi pada ECJD dibantu dengan tekanan air dari *nozzle*.

6. *Electro Chemical Deburring (ECDB)*

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

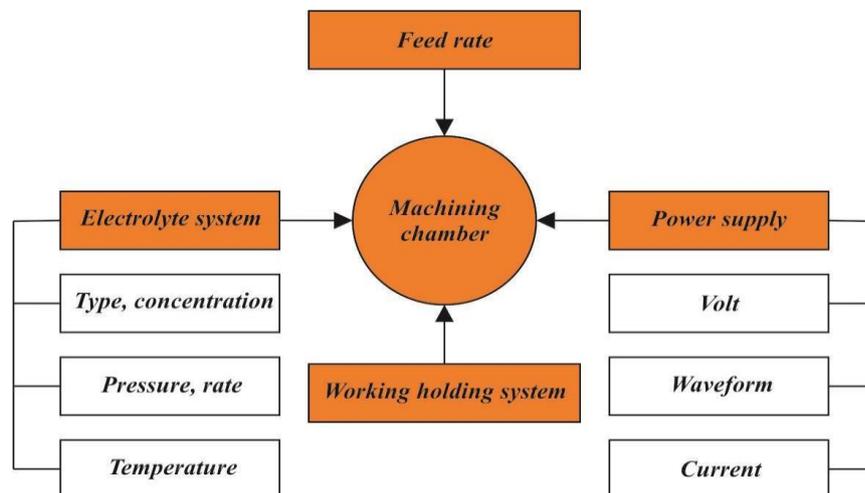
diinginkan pada bagian komponen mesin sebagai hasil dari proses manufaktur dan perlu untuk dihilangkan. Mekanisme *deburring* pada ECDB ditunjukkan pada Gambar 2.18.



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

2.2.6. Peralatan *Electro Chemical Machining*

Komponen utama pada mesin ECM yaitu terdiri dari sistem kontroler, sistem elektrolit, *power supply*, *tool*, sistem mekanis (*frame*), dan pemegang benda kerja seperti yang ditunjukkan Gambar 2.19 berikut.



Gambar 2.19. Komponen sistem pada ECM

1. *Power Supply*

Power supply regulated, tegangannya tidak akan berubah apabila dikenai beban, sedangkan *power supply unregulated* tegangan akan turun apabila dikenai

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

1. Tegangan 2-20 Volt (kontinu atau *pulse*),
2. Kisaran arus antara 5-60 *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. Elektrolit

Fungsi utama elektrolit pada proses pemesinan ECM adalah:

- a. Menciptakan kondisi *anodic dissolution* pada material benda kerja,
- b. Mengonduksikan arus 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 biasa digunakan adalah Natrium Klorida (NaCl), Natrium Nitrat (NaNO_3), dan Natrium Hidroksida (NaOH). Pengoperasian ECM menggunakan campuran elektrolit yang disesuaikan dengan kebutuhan.

Tabel 2.4. Elektrolit dan laju permesinan berbagai benda kerja (*Metals Handbook*, 1989)

<i>Work material</i>	<i>Electrolyte</i>		<i>Removal rate, mm³/(min·A)</i>
	<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

3. Tool elektroda

Tool elektroda pada permesinan ECM harus tahan terhadap karat untuk waktu yang lama dan mampu menghantarkan listrik. Material yang digunakan sebaiknya bersifat anti-karat, mempunyai konduktivitas termal dan konduktivitas listrik yang baik, serta mudah dilakukan pemesinan sesuai geometri yang dibutuhkan. Akurasi dimensional dan *surface finish* pada *tool* elektroda berpengaruh langsung terhadap akurasi dan *surface finish* pada benda kerja. Aluminium, kuningan, tembaga, karbon, perak, *stainless steel*, dan monel adalah material yang biasa digunakan sebagai elektroda pada pemesinan ECM. Adapun material *tool* elektroda yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuningan.

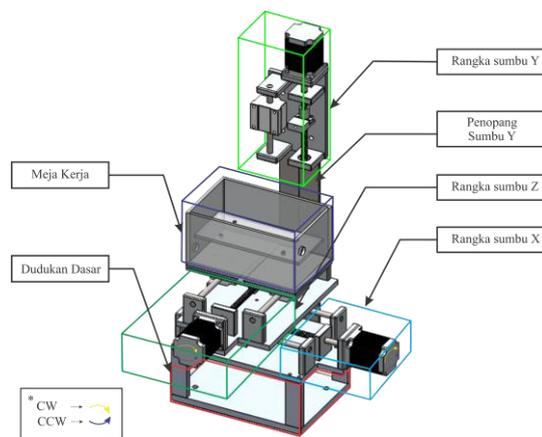
4. Benda kerja (*workpiece*)

Benda kerja pada ECM haruslah mampu menghantarkan listrik. Beda potensial yang terkandung dalam unsur benda kerja sangat menentukan

terciptanya efisiensi arus dalam permesinan. Kereaktifan unsur benda kerja juga menjadi salah satu faktor yang dapat mempengaruhi hasil permesinan pada benda kerja. Selain itu, benda kerja yang diproses dengan pemersinan ECM adalah benda kerja yang bersifat mampu mendapat perlakuan panas.

5. Sistem mekanik (*frame*)

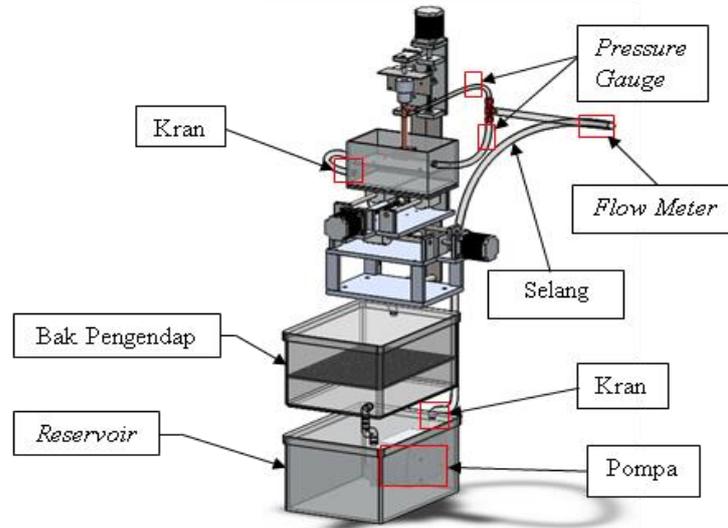
Sistem mekanik (*frame*) sangatlah penting karena Sistem mekanik adalah bagian yang menggerakkan tool dan benda kerja yang akan di *machining*. Pada mesin ECM sistem mekanik haruslah kuat dan tahan terhadap karat supaya umur dari mesin bisa lebih lama. Bahan dari sistem mekanik terbuat dari alumunium dengan ketebalan 10 – 12 mm, alumunium memiliki sifat yang tahan terhadap karat dibanding dengan menggunakan besi pejal.



Gambar 2.20. Sistem mekanik / *frame* (Thoriquddin, 2016)

6. Sistem sirkulasi elektrolit

Pada proses permesinan ECM terdapat tiga buah bak yang berfungsi sebagai bak *worpiece*, bak *filter* dan bak *reservoir*.

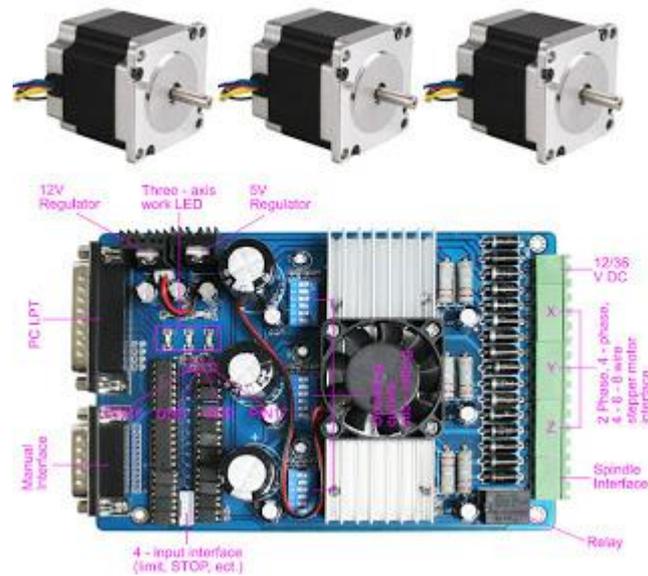


Gambar 2.21. sistem sirkulasi elektrolit (Thoriquddin, 2016)

Gambar 2.21 merupakan Gambar desain sistem sirkulasi elektrolit mesin ECM *portable*. *Reservoir* dipasang pada posisi paling bawah didalamnya terpasang pompa yang akan mengalirkan elektrolit (bersih) menuju *tool* dan meja kerja, dari meja kerja elektrolit (kotor) akan di alirkan ke dalam bak pengendap untuk di endapkan supaya elektrolit yang di alirkan ke *reservoir* sudah kembali bersih.

7. Sistem kontroler

Sistem kontroler adalah komponen elektronik yang menggerakkan motor stepper yang terpasang di sistem mekanik ECM. Kontroler motor *stepper* akan dihubungkan ke motor *stepper* itu sendiri dan disambungkan ke komputer untuk input data. Data yang telah di input dari komputer kemudian dikirimkan ke kontroler, selanjutnya kontroler akan mengirimkan data ke motor *stepper* dan motor *stepper* untuk bergerak sesuai input data dari komputer. Sesuai dengan jumlah sumbu yang terdapat pada sistem mekanik mesin yaitu sumbu X, Y dan Z, maka kontroler harus bisa mengontrol 3 axis sumbu X, Y dan Z.



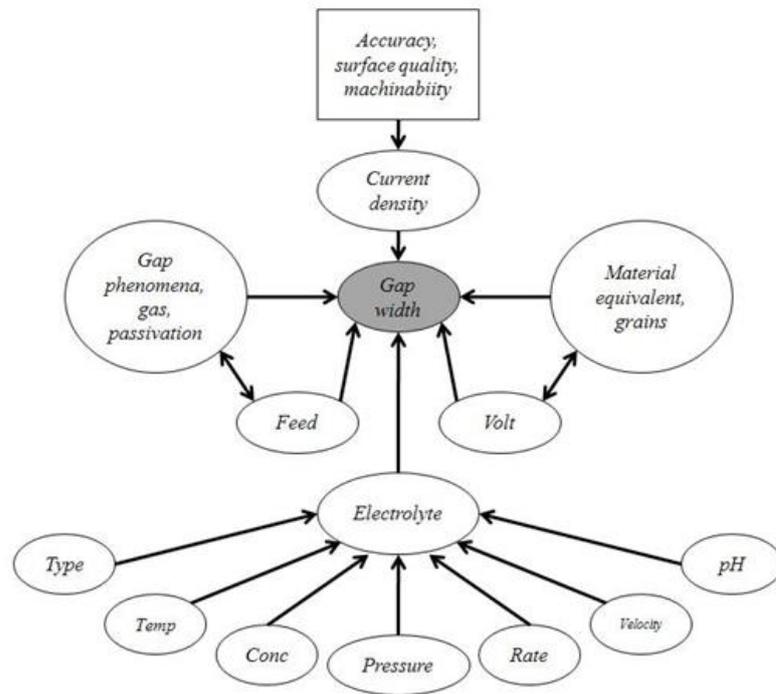
Gambar 2.22. kontroler 3 axis (<http://www.goodluckbuy.com/cnc-kit-3-axis-nema-23-stepper-motor-3-tb6560-driver-controller.html>)

2.2.7. Akurasi ECM

Akurasi pada proses pemesinan ECM tergantung pada densitas arus yang dipengaruhi oleh:

1. Material ekivalen dan *voltage gap*,
2. *Feed rate* dan pasivasi,
3. Properti elektrolit seperti laju, pH, temperatur, konsentrasi, *pressure*, tipe, dan kecepatan.

Parameter yang mempengaruhi akurasi pada pemesinan ECM ditunjukkan pada Gambar 2.23 berikut:



Gambar 2.23. Parameter yang mempengaruhi akurasi pada ECM
(El-Hofy, 2005)

Keakuratan proses pemesinan ECM diukur melalui *overcut* yang dihasilkan selama proses pemesinan berlangsung. *Overcut* yang dihasilkan diukur dengan cara membandingkan besarnya lubang yang ingin dibuat dengan besarnya lubang yang dihasilkan pada benda kerja. Semakin kecil *overcut* yang terbentuk maka semakin akurat proses pemesinan tersebut.

2.2.8. 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 :

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

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

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 :

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

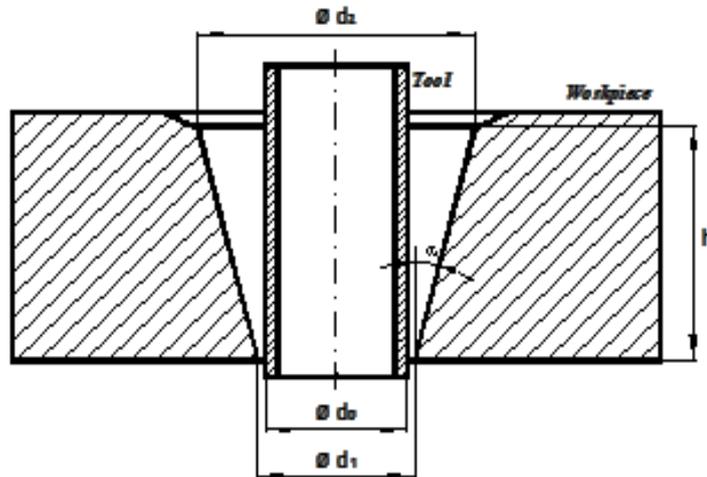
dimana,

- 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)

2.2.9. *Overcut* dan Ketirusan

Overcut didefinisikan sebagai penyimpangan yang menunjukkan bahwa ukuran lubang hasil *drilling* lebih besar dari ukuran pahat yang digunakan. Pada dasarnya *overcut* pada ECM tidak dapat dihilangkan 100%, karena *overcut* tetap diperlukan untuk kelangsungan sirkulasi dari cairan elektrolit dan lagi elektrode sebagai pahat tidak boleh bersentuhan dengan benda kerja agar tidak terjadi hubung singkat (*short circuit*). Namun bila *overcut* yang dihasilkan terlalu besar maka hal tersebut akan berpengaruh terhadap menurunnya kualitas produk, terutama faktor yang berkaitan dengan ketelitian ukuran maupun geometri produk. Sedangkan ketirusan didefinisikan sebagai sudut yang terbentuk sebagai penyimpangan atau deviasi antara lubang

terbesar dan yang terkecil. Untuk lebih jelasnya *overcut* dan efek tirus diperlihatkan sesuai skema Gambar 2.23.



Gambar 2.24. *Overcut* dan efek tirus pada lubang hasil drilling ECM.

Jadi *overcut* O_c dirumuskan sebagai-berikut:

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

Sedangkan ketirusan α dihitung berdasarkan rumus:

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

dengan,

- O_c : *overcut*, milimeter (mm)
- α : 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 *workpiece*, milimeter (mm)