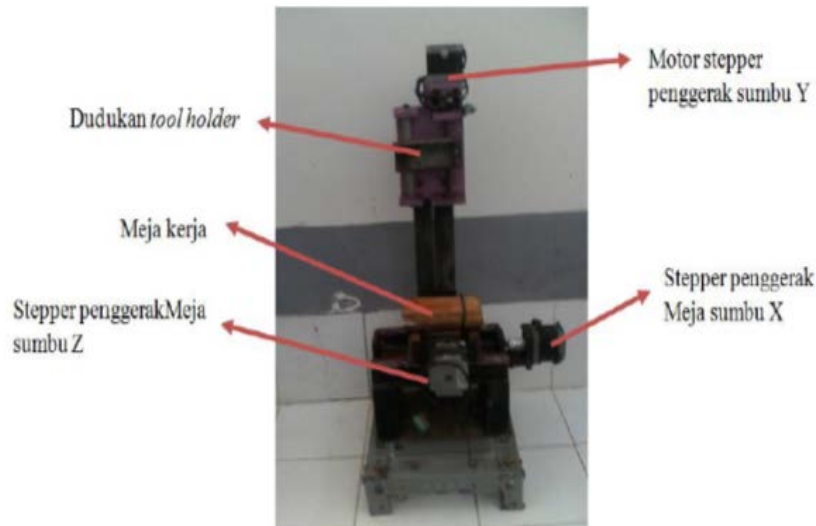


BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

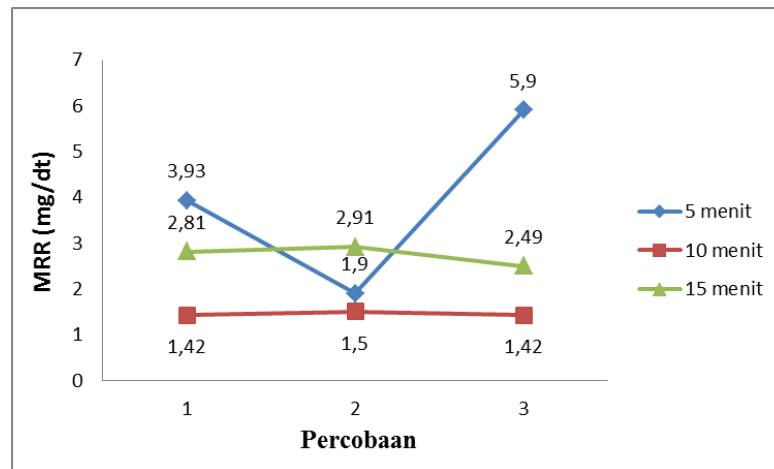
2.1. Kajian Pustaka

Mesin ECM telah dikembangkan oleh Feriyanta, (2015) dengan spesifikasi mesin yaitu : tegangan listrik 7 volt, *working gap* 3 mm, kecepatan aliran elektrolit 3,32 m/s serta menggunakan cairan elektrolit Natrium Chlorida (NaCl) dengan konsentrasi elektrolit 15% NaCl dan 85% aquades. Mesin ECM pada gambar 2.1 tersebut terbuat dari bahan jenis baja, *tool* elektroda tembaga yang mempunyai nilai konduktivitas listriknya yaitu $6,0 \times 10^7$ ($\text{ohm}^{-1}.\text{m}^1$) dan titik leburnya 1085°C .

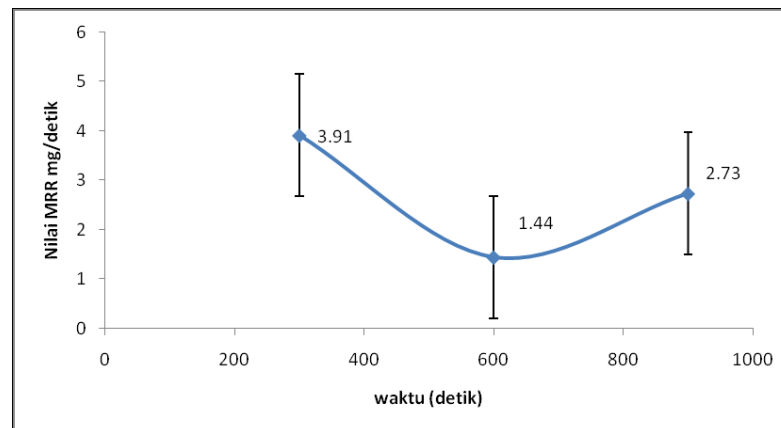


Gambar 2.1 Mesin ECM skala laboratorium (Feriyanta, 2015)

Mesin telah dibuat dapat berfungsi dengan baik sesuai rancangan, kemudian mesin dilakukan pengujian performasi mesin. Pengujian performasi mesin tersebut dengan melakukan pemesinan untuk membuat *gear spline*-dalam (*blind hole*) yang nantinya akan dihitung nilai pemakanan (*depth*) serta nilai *material removal rate* (MRR). Pada gambar 2.2 dan 2.3 dapat dilihat pengaruh waktu pemesinan terhadap nilai MRR benda kerja plat SLD. Lama waktu pemesinan berbanding terbalik terhadap nilai MRR SLD, semakin lama waktu pemesinan maka semakin kecil nilai MRR yang dihasilkan pada proses pemesinan ECM. Nilai MRR tertinggi pada saat waktu 5 menit dengan nilai 3,91 mg/detik, sedangkan nilai MRR terendah pada waktu 10 menit dengan nilai 1,44 mg/detik.



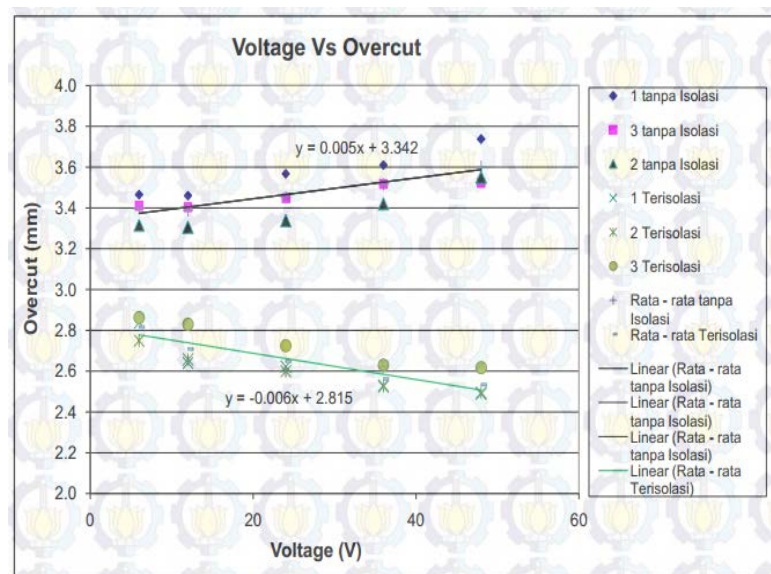
Gambar 2.2 Grafik nilai MRR tiap percobaan (Feriyaanta, 2015)



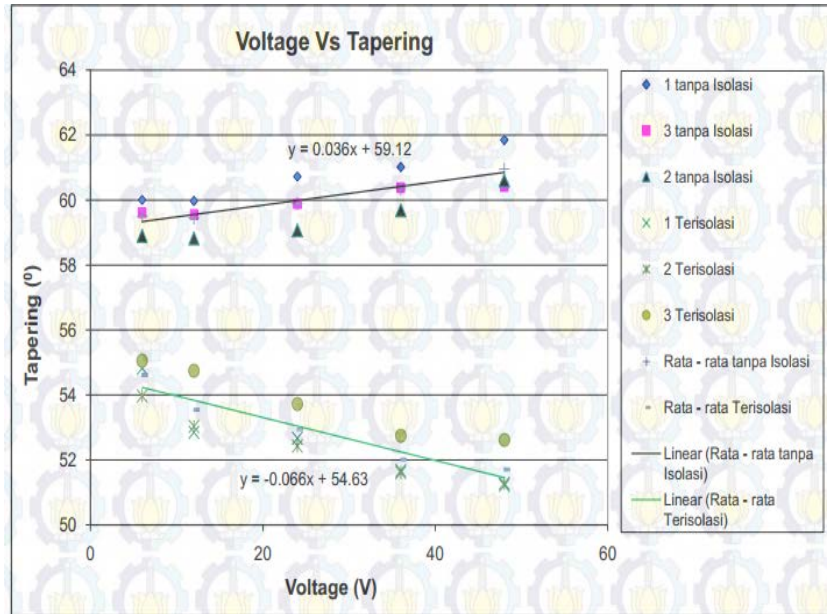
Gambar 2.3 Grafik nilai rata-rata MRR (Feriyaanta, 2015)

Penelitian lain, Wahyudi (2010) menunjukkan hubungan variasi *voltage* terhadap ukuran *overcut*, ketirusan dan MMR ,pada penelitian ini menggunakan cairan elektrolit Kalium Clorida (KCl) dengan *tool* elektroda tembaga silinder berlubang 12 mm dimana *tool* terisolasi dan tanpa isolasi,material benda kerja yang dipakai pada penelitian ini adalah plat baja SKD 11 dengan ukuran panjang 150 mm, lebar 36,80 mm dan tebal 4,5 mm. Variasi *voltage* yang diambil yaitu 6V, 12V, 24V, 36V, 48V . Wahyudi (2010) menyatakan dari hasil analisis data percobaan pada proses ECM dengan memvariasikan *voltage*: 6V, 12V, 24V, 36V, 48V pada kondisi pahat terisolasi dan tanpa isolasi dapat ditarik kesimpulan dengan meningkatnya tegangan, pada penggunaan pahat dengan kondisi tanpa isolasi *overcut* pada lubang yang dihasilkan juga akan semakin besar tetapi

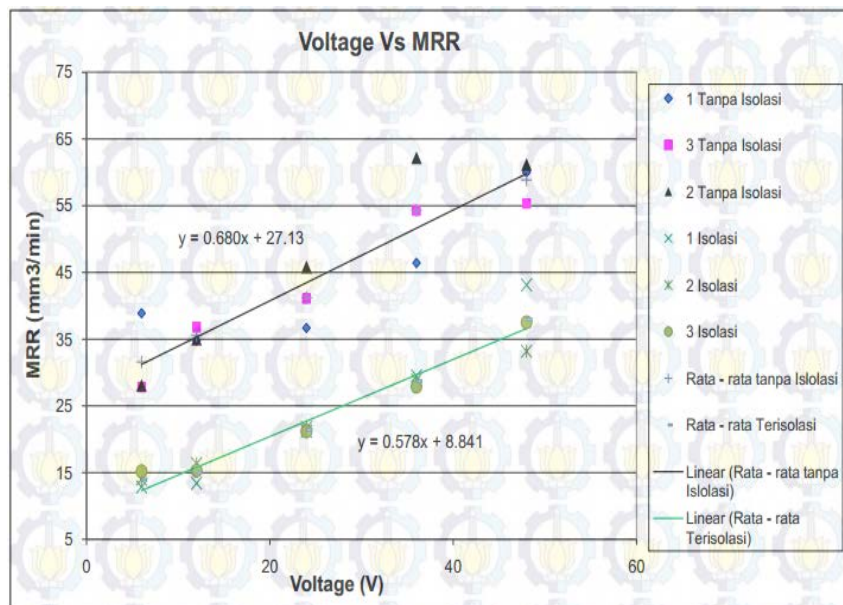
kondisi tersebut berbanding terbalik dengan kondisi terisolasi, dengan meningkatnya tegangan, pada penggunaan pahat dengan kondisi tanpa isolasi *tapering* pada lubang yang dihasilkan juga akan semakin besar tetapi kondisi tersebut berbanding terbalik dengan kondisi terisolasi. Melalui pengisolasian disepanjang permukaan sisi luar pada pahat menunjukkan adanya reduksi terhadap besarnya *overcut* dan ketirusan pada lubang. Semakin besar tegangan yang digunakan akan mempercepat waktu pelubangan. Pada penggunaan pahat terisolasi waktu pelubangan yang dihasilkan lebih lama dibandingkan oleh waktu pelubangan yang dihasilkan oleh pahat tanpa isolasi. Hasil penelitian ditunjukkan oleh grafik gambar 2.4, gambar 2.5, dan gambar 2.6.



Gambar 2.4 Grafik hasil penelitian pengaruh *voltage* terhadap *overcut* (Wahyudi, 2010)

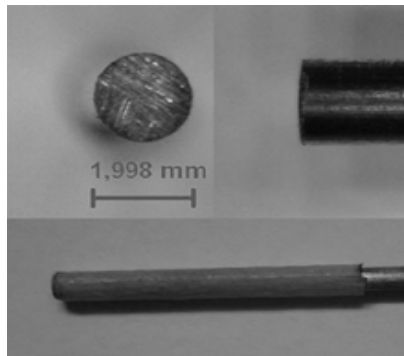


Gambar 2.5 Grafik hasil penelitian pengaruh *voltage* terhadap *tapering* (Wahyudi, 2010)



Gambar 2.6 Grafik hasil penelitian pengaruh *voltage* terhadap MRR (Wahyudi, 2010)

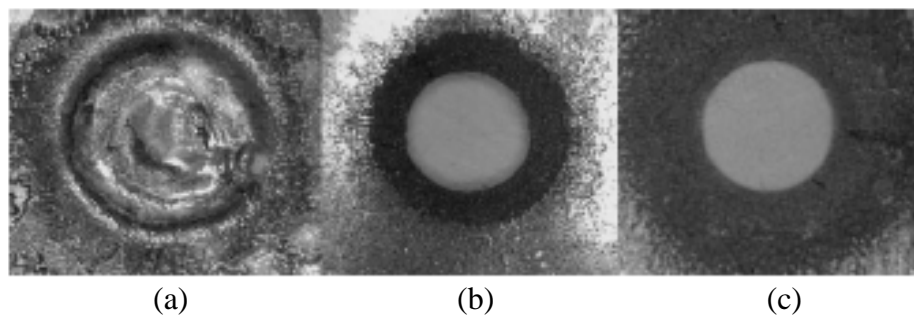
Studi eksperimental lain dilakukan oleh Sudiarso dkk, (2013) dengan benda kerja plat kuningan, *stainless steel* 204, dan aluminium 1100, dimana semua benda kerja mempunyai ketebalan 1 mm. Sedangkan elektroda berdiameter 2 mm dengan bahan kuningan, seperti ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 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 lubang yang telah dilakukan proses pemesinan ditunjukkan pada gambar 2.8. 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 2.8.



Gambar 2.8 Hasil lubang pemesinan menggunakan ECM dengan benda kerja (a) kuningan (b) *stainless steel* (c) aluminium (Sudiarso dkk, 2013)

Material *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 2.1.

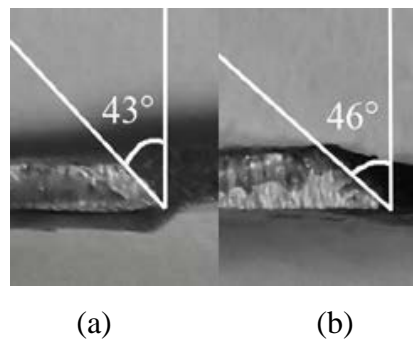
Tabel 2.1 Perbandingan *overcut* rata-rata dan sudut *overcut* rata-rata (Sudiarso dkk, 2013)

NO	Diameter (mm)	Jenis Material	<i>Overcut</i> rata-rata (mm)	Sudut <i>Overcut</i> rata-rata ($^{\circ}$)
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

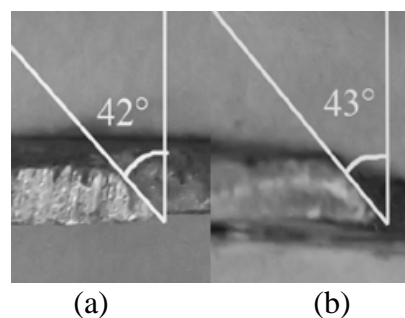
Tabel 2.2 Perbandingan *overcut* rata-rata dan presentase (Sudiarso dkk, 2013)

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

Pada gambar 2.9 material *stainless steel* menggunakan elektroda 2 mm sudut sebelah kiri sebesar 43° , sedangkan sudut di sebelah kanan menggunakan elektroda 6 mm sebesar 46° .



Gambar 2.9 Sudut *overcut* material *stainless steel* (a) diameter 2 mm dan (b) diameter 6 mm menggunakan elektroda kuningan (Sudiarso dkk, 2013)



Gambar 2.10 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:

Hubungan antara variasi waktu dan nilai MRR berbanding terbalik. Pada pemesinan ECM nilai MRR tertinggi diperoleh pada waktu pemesinan 5 menit dengan nilai 3,91 mg/detik, sedangkan nilai MRR terendah diperoleh pada waktu 10 menit dengan nilai 1,44 mg/detik. Semakin lama pemesinan, maka akan semakin kecil nilai MRR pada benda kerja. Dari data yang disajikan bahwa setiap detiknya bisa memakan kedalaman 840 μm /detik semakin lama waktu yang digunakan dalam pemesinan berarti semakin dalam lubang benda kerja (Feriya, 2015).

Wahyudi (2010) menyatakan dari hasil analisis data percobaan pada proses ECM dengan memvariasikan *voltage*: 6V, 12V, 24V, 36V, 48V pada kondisi pahat terisolasi dan tanpa isolasi dapat ditarik kesimpulan dengan meningkatnya tegangan, pada penggunaan pahat dengan kondisi tanpa isolasi *overcut* pada lubang yang dihasilkan juga akan semakin besar tetapi kondisi tersebut berbanding terbalik dengan kondisi terisolasi, dengan meningkatnya tegangan, pada penggunaan pahat dengan kondisi tanpa isolasi *tapering* pada lubang yang dihasilkan juga akan semakin besar tetapi kondisi tersebut berbanding terbalik dengan kondisi terisolasi. Melalui pengisolasian disepanjang permukaan sisi luar pada pahat menunjukkan adanya reduksi terhadap besarnya *overcut* dan ketirusan pada lubang. Semakin besar tegangan yang digunakan akan mempercepat waktu pelubangan. Pada penggunaan pahat terisolasi waktu pelubangan yang dihasilkan lebih lama dibandingkan oleh waktu pelubangan yang dihasilkan oleh pahat tanpa isolasi.

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 Ukuran *tool* dan material benda kerja yang digunakan, untuk mengetahui hasil pemesinan ECM pada material tersebut. Material yang digunakan adalah kuningan pejal berdiameter 3 mm sebagai elektroda, sedangkan *stainless steel* 304 tebal 0,4 mm sebagai benda kerja. Penyusun meneliti hasil pemesinan ECM *portable* menggunakan *tool* elektroda tidak terisolasi dengan variabel variasi gap dan tegangan yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi gap dan tegangan terhadap MRR, *overcut*, dan ketirusan pada material *stainless steel* 304.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. *Electro Chemical Machining* (ECM)

Electro chemical 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 yang dihilangkan oleh proses pemesinan, m , berbanding lurus dengan jumlah muatan listrik.

$$m \sim It \dots\dots\dots(2.1)$$

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

$$m \sim E \dots\dots\dots(2.2)$$

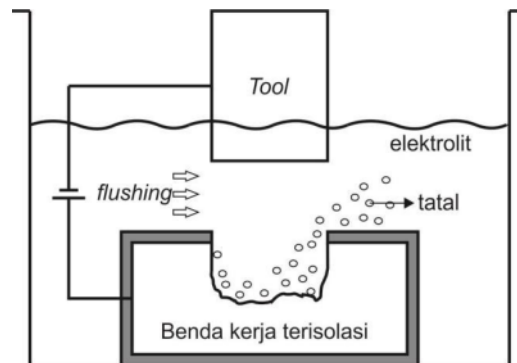
$$E = \frac{M}{Z} \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan,

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

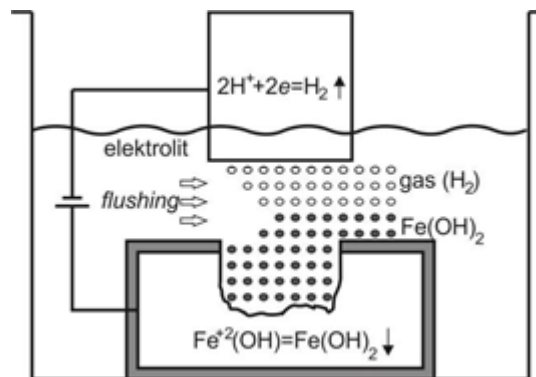
Prinsip ECM yaitu proses pengerjaan material dengan cara pelarutan anodis (*anodic dissolution*) dari benda kerja oleh cairan elektrolit yang mengalir

melalui celah (*gap*) antara benda kerja (anode) dan elektroda (katode), seperti ditunjukkan pada Gambar 2.11. 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 2.11 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 2.12.



Gambar 2.12 Reaksi proses pemesinan ECM pada besi (McGeough, 1988)

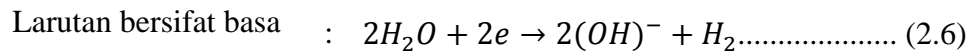
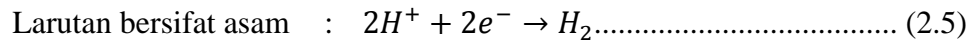
2.2.3. Reaksi kimia pada proses *Electro Chemical Machining* (ECM)

1. Pada Katode (elektroda):

- a. Proses pelapisan pada ion-ion logam

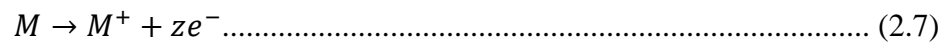


- b. Proses pembentukan gas hydrogen

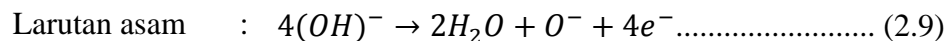
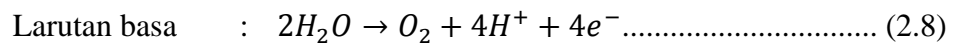


2. Pada Anode (benda kerja)

- a. Proses pelarutan dari ion metal di dalam cairan elektrolit

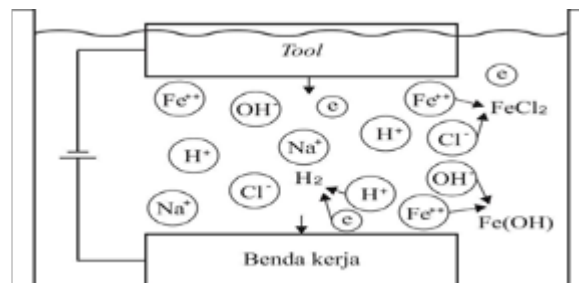


- b. Proses pembentukan gas oksigen



- c. Difusi, pergerakan ion akibat adanya medan listrik, seperti ditunjukkan oleh gambar 2.13.

- d. Proses konveksi karena aliran elektrolit.



Gambar 2.13 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,

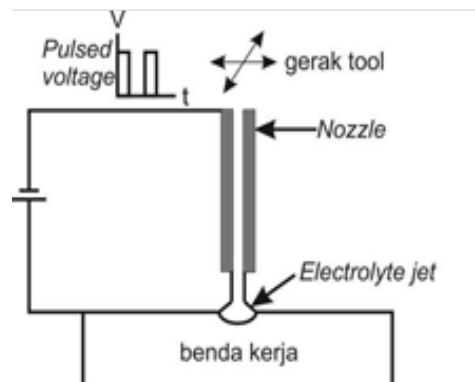
4. Beda potensial, hambatan, efisiensi arus memiliki nilai yang tetap pada setiap titik permukaan benda kerja,
5. Adanya *flushing* yang berfungsi untuk pendingin, medium elektrolisis, dan penghapusan tatal.

2.2.5. Jenis *Electro Chemical Machining* (ECM)

Electro Chemical Machining (ECM) terbagi menjadi beberapa jenis berdasarkan kebutuhan permesinan yang diperlukan, antara lain:

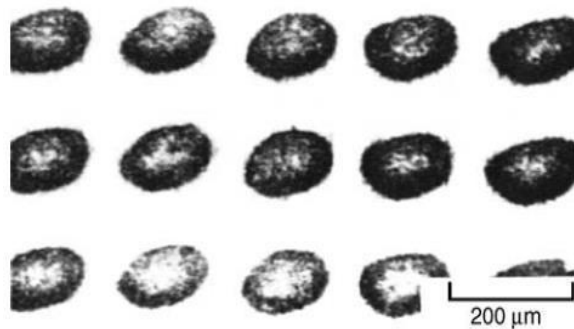
1. *Micro-ECM*

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



Gambar 2.14 *Electrolyte Jet* (El-Hofy, 2005)

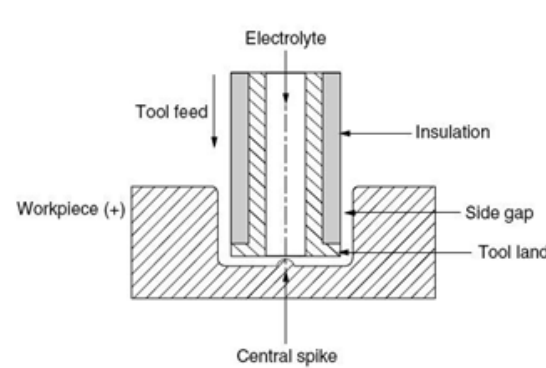
Pada *micro-ECM*, *tool* mikro yang digunakan adalah *electrolyte jet* seperti pada gambar 2.14 di mana benda kerja yang bergerak terhadap *tool*-nya. Jenis arus yang digunakan pada *micro-ECM* adalah *pulse current* (arus kotak) yang dapat menghasilkan indentasi (cekungan) yang kecil saat permesinan. Indentasi pada pemesinan mikro dapat dilihat pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 Indentasi (cekungan) pada permesinan 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 2.16, *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.

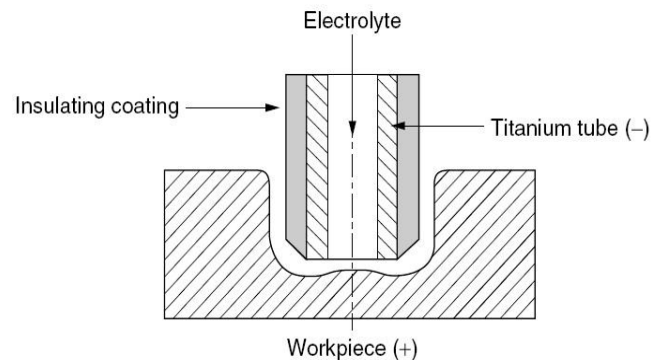


Gambar 2.16 Konfigurasi ECDR (El-Hofy, 2005)

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 2.17 Skema STEM (El-Hofy, 2005)

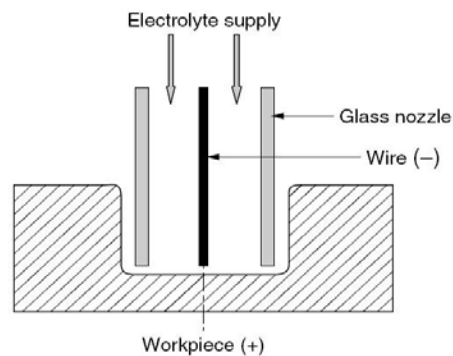
Sistem konfigurasi permesinan pada STEM adalah sama dengan ECM, seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.17 di atas. Namun sistem harus tahan terhadap asam (*acid resistant*), kekakuan tidak tinggi, dan memiliki *power supply* dengan polaritas yang dapat diubah secara periodik. Karena proses permesinan 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*

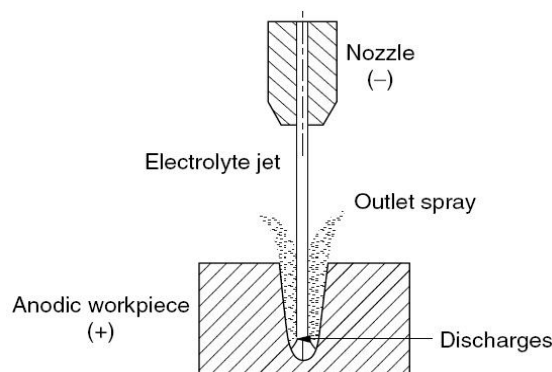
(*Capillary*) *Drilling* dapat dilihat pada gambar 2.18.



Gambar 2.18 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 2.19 dimana *nozzle* berperan sebagai katodenya.



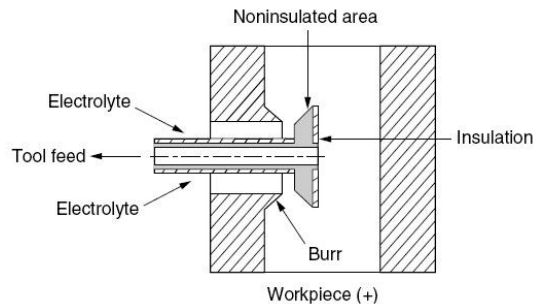
Gambar 2.19 *Electro Chemical Jet Drilling* (El-Hofy, 2005)

Khusus *Electro chemical 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

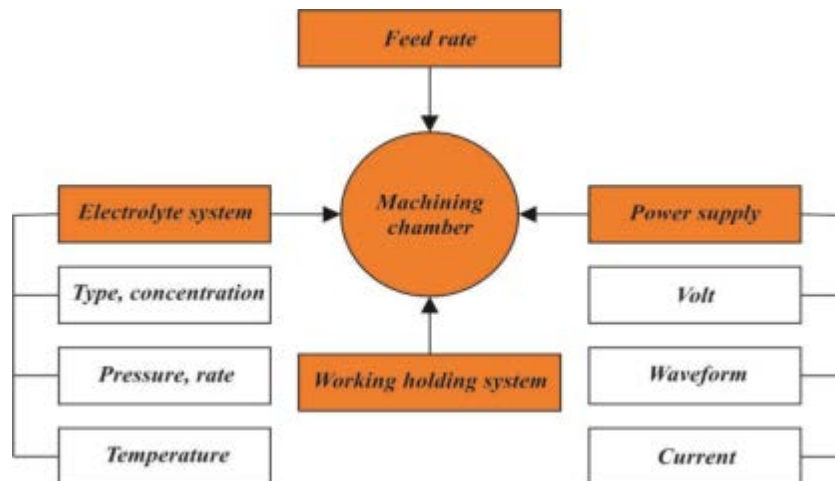
perlu untuk dihilangkan. Mekanisme *deburring* pada ECDB ditunjukkan pada gambar 2.20.



Gambar 2.20 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 2.21 berikut.



Gambar 2.21 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:

- Tegangan 2-20 Volt (kontinu atau *pulse*),
- Kisaran arus antara 5-60 *ampere*,
- Penyesuaian tegangan pada *gap* berlangsung secara kontinu,

- d. Pengendali arus dalam keadaan darurat (*emergency*),
- e. 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 permesinan,
- 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 2.3 Elektrolit dan laju permesinan berbagai benda kerja

Work material	Electrolyte		Removal rate, mm/min·A
	Constituen	Concentration g/L H ₂ O	
Grey iron	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

Sumber : (*Metals Handbook*, 1989)

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*)

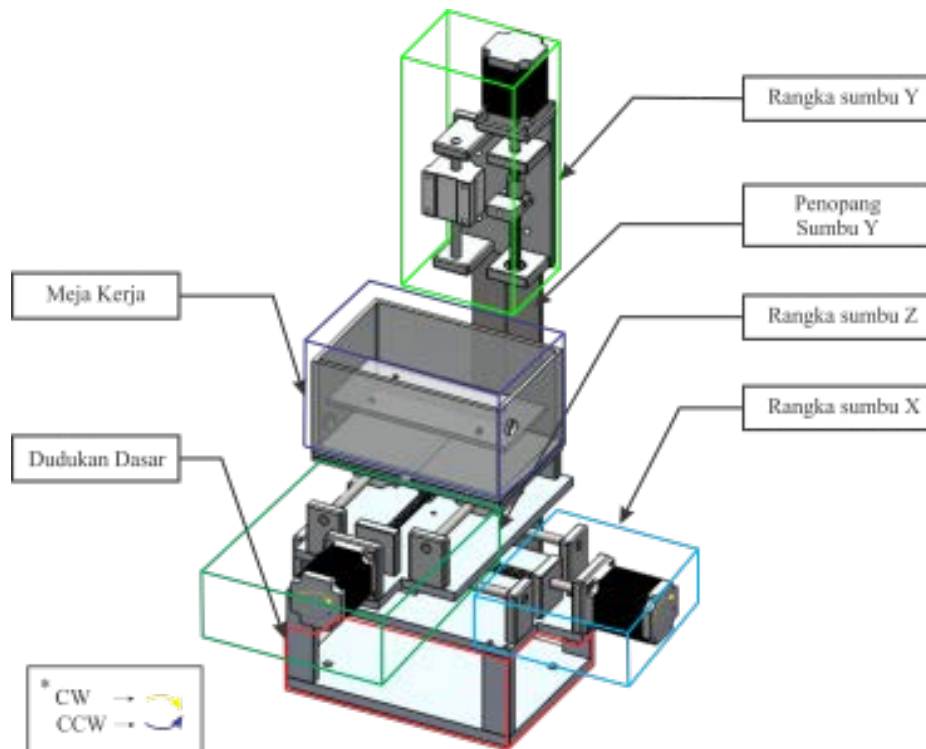
Benda kerja pada ECM haruslah mampu menghantarkan listrik. Beda potensial yang terkandung dalam unsur benda kerja sangat menentukan terciptanya efisiensi arus dalam permesinan. Kereaktifan unsur benda kerja juga menjadi salah satu faktor yang dapat mempengaruhi hasil permesinan pada benda kerja. Selain itu, benda kerja yang diproses dengan pemesinan ECM adalah benda kerja yang bersifat mampu mendapat perlakuan panas. Benda kerja yang digunakan pada penelitian ini adalah plat baja *stainless steel* 304 tebal 0,4 mm.

Stainless steel adalah jenis baja tahan karat yang dibuat untuk di aplikasikan sebagai mesin di industri makanan dan minuman, peralatan dapur, industri perminyakan. *Stainless steel* merupakan baja perkakas yang banyak dipergunakan dalam industri karena memiliki sifat tahan karat yang tinggi akibat kandungan krom yang tinggi 18-20%. *Stainless steel* 304 termasuk kelompok austenitic. Austenitic memiliki kandungan krom pada kisaran 17%-25% dan nikel pada kisaran 8-20% dan beberapa unsur/elemen tambahan dalam upaya mencapai sifat yang diinginkan. Baja tahan karat kelompok ini adalah non magnetic. Komposisi kimia dari *stainless steel* 304 yaitu, karbon 0,07%, Silicon 1%, Mangan 2%, Fosfor 0,045%, Sulfur 0,030%, Nikel 8-10%, Nitrogen 0,11%, Krom 18-20% (*European Stainless Steel Development Association*).

5. Sistem mekanik (*frame*)

Sistem mekanik (*frame*) sangatlah penting karena Sistem mekanik adalah

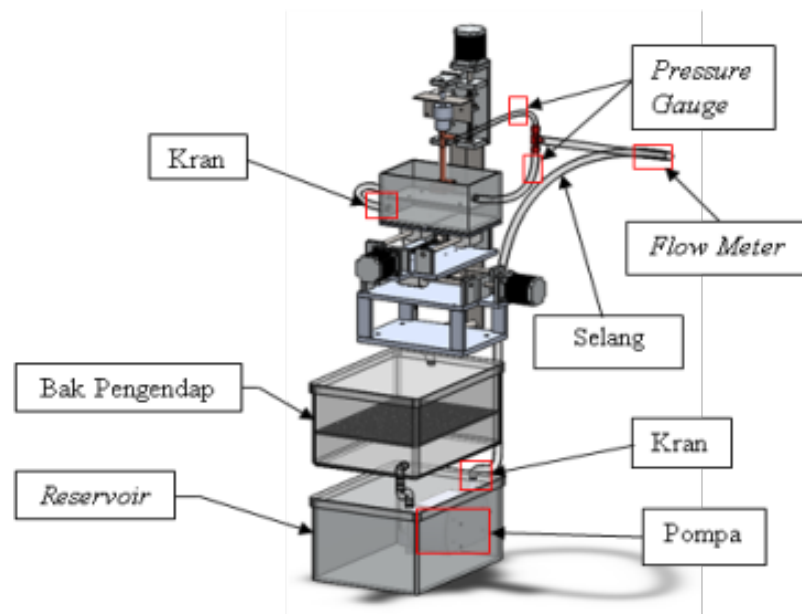
bagian yang menggerakkan *tool* dan benda kerja yang akan di *machining*. Pada mesin ECM sistem mekanik haruslah kuat dan tahan terhadap karat supaya umur dari mesin bisa lebih lama. Bahan dari sistem mekanik terbuat dari aluminium dengan ketebalan 10-12 mm, aluminium memiliki sifat yang tahan terhadap karat dibanding dengan menggunakan besi pejal.



Gambar 2.22 Sistem mekanik (*frame*)
(Toriquddin, 2016)

6. Sistem sirkulasi elektrolit

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

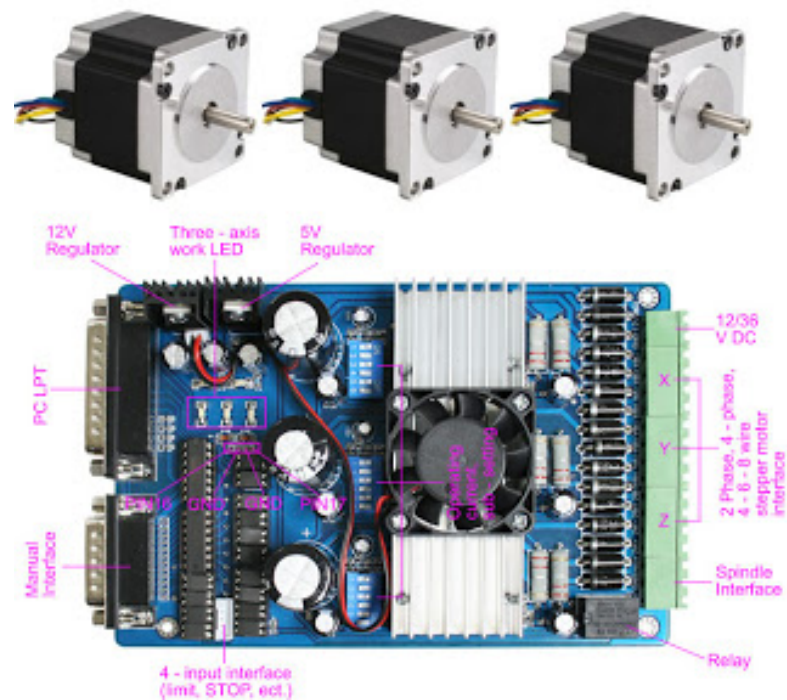


Gambar 2.23 Sistem sirkulasi elektrolit
(Toriquddin, 2016)

Gambar 2.23 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.



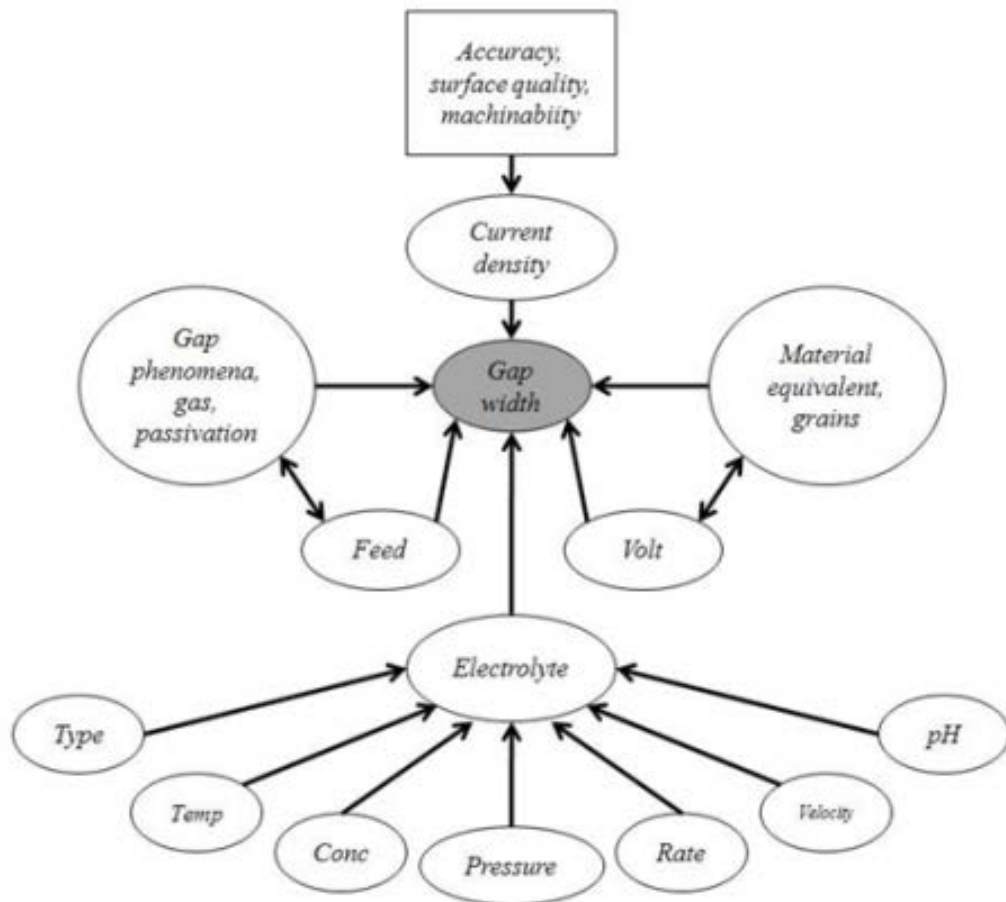
Gambar 2.24 Kontroler 3 axis

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 2.25 berikut:



Gambar 2.25 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)

Material Removal Rate (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 :

$$m = \frac{I \cdot t}{F} = \frac{M \cdot I \cdot t}{2 \cdot F} \dots\dots\dots(2.10)$$

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

dengan,

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

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 :

$$MRR = \frac{m_0 - m_t}{t} \dots\dots\dots (2.12)$$

dimana,

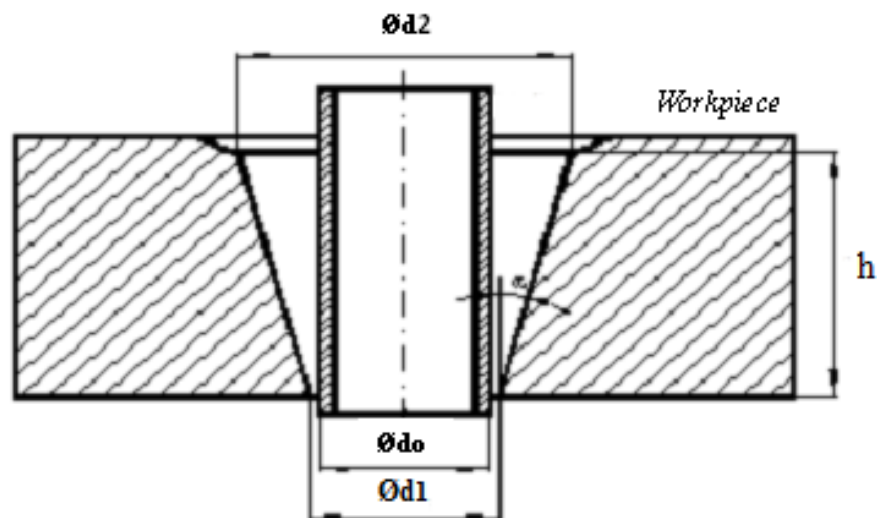
- MRR : *Material Removal Rate* (g/dt)
- m_0 : Massa benda kerja sebelum pemesinan (gram)
- m_t : Massa benda kerja setelah pemesinan (gram)
- t : Waktu pemesinan (detik)

2.2.9. *Overcut dan Ketirusan*

Sebelum melakukan perhitungan *overcut* dan ketirusan, hasil foto makro material dibantu oleh *software* imageJ untuk diolah terlebih dahulu, mencari luasan daerah serta sudut hasil lubang pemesinan. ImageJ adalah domain publik program pengolah gambar *java*. ImageJ dapat menampilkan, mengedit, menganalisa, memproses, menyimpan dan mencetak gambar 8-bit, 16-bit, 32-bit, RGB. ImageJ dapat membaca banyak format gambar termasuk TIFF, GIF, JPEG, BMP, DICOM, FITS. ImageJ juga dapat mengukur jarak dan sudut, serta dapat membuat histogram kepadatan dan *plot profile line*. *Software* ini didukung standar fungsi pengolah gambar seperti manipulasi kontras, *sharpening*,

smoothing, deteksi tepi dan median *filtering*.

Menurut Suhardjono (2014) *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 2.26



Gambar 2.26 *Overcut* dan efek tirus pada lubang hasil *drilling* ECM (Suhardjono, 2014)

Jadi *overcut* O_c dirumuskan sebagai-berikut:

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

Sedangkan ketirusan α dihitung berdasarkan rumus:

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{d_2 - d_0}{2.h} \right] \dots \dots \dots (2.14)$$

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 *workpice*, milimeter (mm)