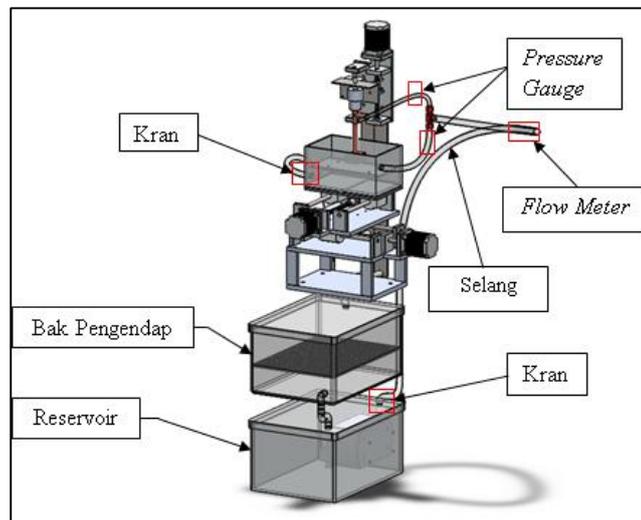


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

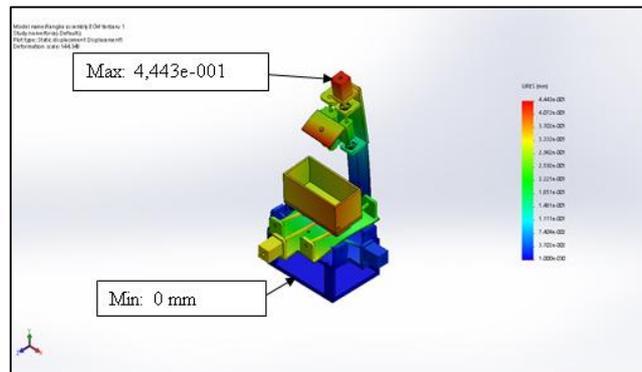
Toriquiddin (2015) melakukan perancangan ulang mesin *Electrochemical Machining* (ECM) yang dibuat menggunakan *software Solidworks 2015*. Terdapat beberapa tahap dalam perancang mesin ECM yaitu pada tahapan yang pertama adalah merancang sistem mekanik mesin yaitu perancangan rangka mesin ECM Selanjutnya merancang komponen – komponen penggerak sistem mekanik meliputi *motor stepper*, *ballscrew* dan *linear bearing*. Selanjutnya masuk ke tahap *assembly* setiap *part – part* yang telah dibuat dijadikan satu kesatuan dapat dilihat pada gambar 2.1. Tahap yang kedua adalah merancang sistem sirkulasi elektrolit yaitu merancang komponen – komponen yang dibutuhkan pada sistem sirkulasi elektrolit meliputi *reservoir*, bak pengendap, pompa, keran, *flow meter*, *pressure gauge* dan selang (*hose*). Selanjutnya proses *assembly* sistem sirkulasi elektrolit.



Gambar 2.1 *Assembly* mesin ECM (Toriquiddin, 2015)

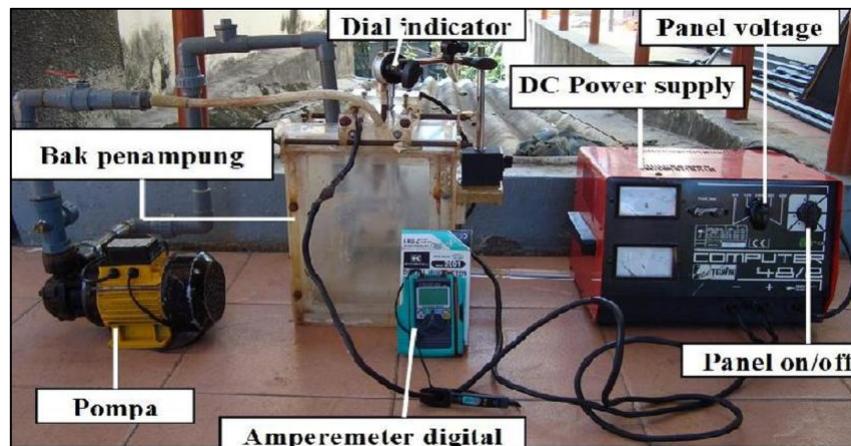
Pada perancangan ulang yang dilakukan oleh Toriquiddin (2015) dilakukan analisis tegangan pada setiap sumbu mesin ECM, material yang digunakan pada profil mesin ECM adalah aluminium *alloy* dan diberi pembebanan sebesar 50 N maka hasil analisa yang menyatakan hasil *yield point value* sebesar 1.050×10^8

MPa dan *von mises value* minimum yang terdeteksi adalah 6.5993 MPa, sedangkan *von mises value* maksimum yang terdeteksi adalah 4.5105×10^7 MPa. *Force displacement* perancangan sistem meknik ECM terdeteksi *displacement* yang terjadi adalah 4.443×10^{-1} mm dapat dilihat pada gambar 2.2, maka dapat disimpulkan bahwa perancangan ECM aman dan siap untuk dibuat.



Gambar 2.2 *Displacement* mesin ECM (Toriuddin, 2015)

Suharjono (2014) membuat mesin ECM dengan material Akrilik yang digunakan sebagai tempat fabrikasi, seperti gambar 2.3

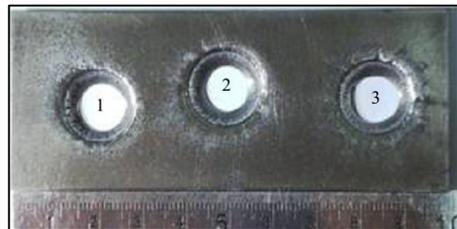


Gambar 2.3. Mesin ECM (Suharjono, 2014)

Pada mesin ECM yang digunakan oleh Suharjono (2014) masih memiliki kekurangan yaitu pada pada mesin ECM tidak menggunakan filter elektrolit. Jika tidak menggunakan filter maka geram hasil pemesinan akan menempel pada tool dan juga akan membuat hasil benda kerja tidak memuaskan. Pada sistem pemegang tool nya juga masih manual yaitu menggunakan dial indicator.

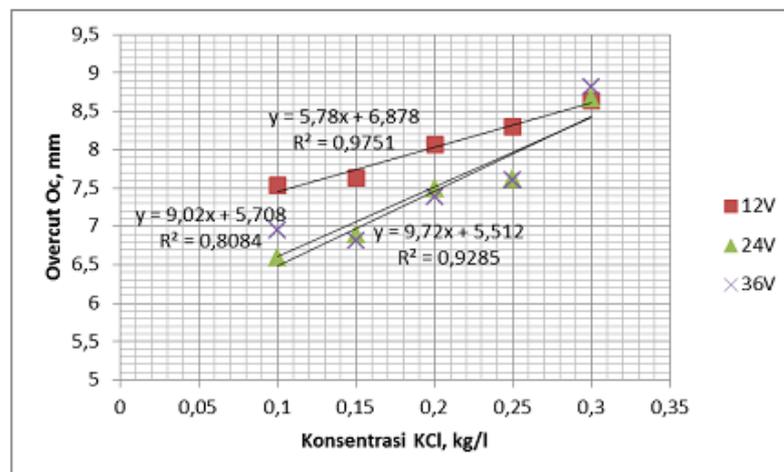
Peneliti menguji performasin "overcut" (kelebihan ukuran) dan "taper effect" (efek tirus) dari lubang hasil drilling mesin ECM skala laboratorium akibat pengaruh konsentrasi elektrolit yang berupa larutan KCl dalam air. Hasil dari pengujian menyatakan bahwa semakin tinggi konsentrasi dari larutan KCl maka overcut yang terjadi semakin besar, contoh pada gambar 2.4

- 1) Konsentrasi KCl 0.1 kg/l, $d_{min}=10.84\text{mm}$, $d_{max}=16.52\text{mm}$, 24 V, 9.2A.
- 2) Konsentrasi KCl 0.3 kg/l, $d_{min}=10.38\text{mm}$, $d_{max}=18.59\text{mm}$, 24 V, 15.5A.
- 3) Konsentrasi KCl 0.3 kg/l, $d_{min}=10.37\text{mm}$, $d_{max}=18.73\text{mm}$, 36 V, 26.9A



Gambar 2.4. Hasil *drilling ECM* (Suharjono, 2014)

Pada penelitian nya *Overcut* terbesar pada tegangan 12V dibandingkan dengan tegangan 24 dan 36V, sebab pada tegangan 12V dibutuhkan waktu hingga 3 lebih lama dibandingkan tegangan 24 dan 36V seperti pada gambar 2.5



Gambar 2.5. Grafik fungsi konsentrasi KCl versus *overcut* untuk tegangan 12V, 24V dan 36V (Suharjono, 2014)

Selanjutnya Sulistiyo (2015) melakukan pembuatan dan pengujian Mesin ECM yang telah dirancang oleh Toriquddin (2015) yang menggunakan plat alumunium, plat alumunium dipotong dan di *machining* per *part* sesuai dengan ukuran yang telah dirancang sebelumnya dan selanjutnya dilakukan perakitan tiap-tiap bagian. Setelah meakukan perakitan selajutnya memasang *part-part* seperti *motor stepper*, *ballscrew*, *bearing* dan *rill*. Sehingga membentuk Mesin ECM jadi sesuai rancangan yang dibuat dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Mesin ECM (Sulistiyo, 2016)

Setelah dilakukan perakitan Sulistiyo (2016) melakukan pengujian awal untuk mesin ECM yaitu pembuatan lubang pada plat *stainless steel 304* dan *tool* kuningan. Pada pengujian awal menggunakan larutan NaCl dengan konsntrasi 15% dan menetapkan tegangan sebesar 7 volt. Hasil dari pengujian ini jarak gap di variasikan dapat dilihat pada gambar 2.7. Selanjutnya benda kerja yang nantinya akan di analisis pengaruhnya terhadap nilai MRR.



(a) Benda kerja tampak depan



(b) Benda kerja tampak belakang

Gambar 2.7. Benda kerja hasil pemesinan terisolasi (Sulistiyo , 2016)

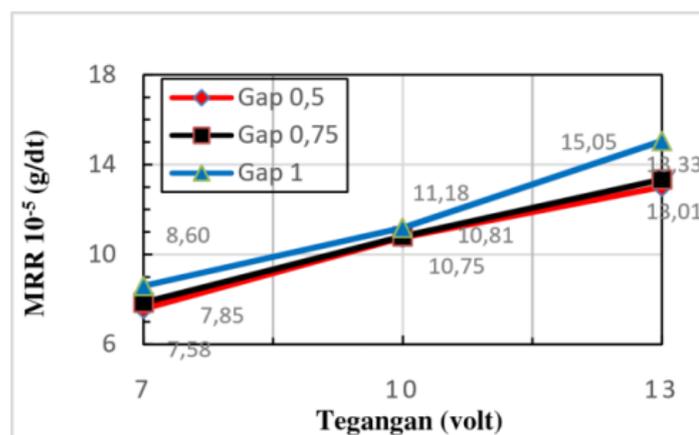
Dari penelitian Sulistiyo (2016) maka hasil MRR sebagai berikut adalah hasil seluruh perhitungan MRR hasil pemesinan benda kerja dengan variasi jarak celah (*gap*) dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1. Hasil permesinan terisolasi (Sulistiyo , 2016)

	Variasi Jarak Celah (<i>gap</i>)		
	0.5 (mm)	0.75 (mm)	1 (mm)
m_o (g)	6.6658	6.6837	6.6316
m_t (g)	6.5072	6.5248	6.4809
$\Delta m = m_o - m_t$ (gr)	0.1586	0.1589	0.1507
T (dt)	313.2		
MRR (g/dt)	5.0639×10^{-4}	5.0734×10^{-4}	4.8116×10^{-4}
Debit (m/s)	3 (meter/detik)		
Tegangan	7 (volt)		
Diameter Tool (mm)	6 (mm)		

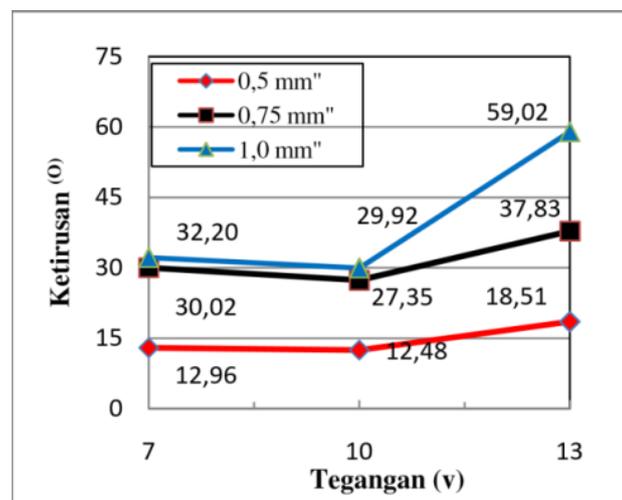
Pada penelitian Sumardi (2016) menunjukkan bahwa akurasi dalam pemesinan ECM dapat dilihat dari nilai MRR, *overcut*, dan ketirusan karena dipengaruhi oleh tegangan dan gap hal-hal tersebut sangat lah perlu diperhatikan dalam proses pemesinan ECM. Tanpa ada gap dan tegangan maka pemesinan tidak akan terjadi. Maka perlunya untuk memvariasikan tegangan, gap dan konsentrasi larutan. Pada penlitian ini dilakuka variasi tegangan 7,10 , 13 volt dan untuk variasi gap nya adalah 0.5, 0.7 dan 1 mm. Benda kerja yang digunakan yaitu plat *stainless steel* 304 dengan dimensi 50x40 mm tebal 0.4 mm dan *tool* terbuat dari bahan kuningan pejal berdiameter 3mm. Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa MRR terbesar pada gap 0,5 mm dan tegangan 13 volt yaitu $3,30 \times 10^{-4}$ g/dt dan untuk MRR terkecil pada gap 1 mm dan tegangan 7 volt yaitu $1,41 \times 10^{-4}$ g/dt. Nilai *overcut* yang tertinggi yang diperoleh pada pengujian pada variasi gap 1 mm dengan tegangan 13 volt yaitu 1,46 mm sedangkan untuk nilai *overcut* yang terendah pada gap 1 mm dengan tegangan 7 volt yaitu 0.45 mm.

Nugroho dkk. (2016) melakukan penelitian pengaruh tegangan dan variasi gap pada proses ECM menggunakan elektroda kuningan tidak terisolasi terhadap nilai MRR dan *overcut* dan ketirusan pada almunium 1100. Hasil dari penelitian tersebut menyatakan bahwa semakin besar tegangan dan gap yang digunakan maka nilai MRRnya akan semakin besar dapat dilihat pada gambar 2.8



Gambar 2.8 Grafik pengaruh tegangan dan gap terhadap MRR aluminium 1100 (Nugroho dkk. 2016)

Ditambah oleh Nugroho dkk. (2016) bahwa dalam penelitiannya menyatakan bahwa semakin besar tegangan dan gap yang digunakan maka nilai *overcut* nya juga semakin besar. Hasil nilai *overcut* terkecil didapatkan pada tegangan 7 volt dan gap 0,5 mm yaitu 1,48 mm. Tegangan dan gap yang besar membuat arus akan menyebar kesamping permukaan benda kerja dan menyebabkan hasil pemesinan tidak merata sehingga menghasilkan ketirusan yang bervariasi.



Gambar 2.9 Grafik pengaruh tegangan dan *gap* terhadap ketirusan aluminium

1100

(Nugroho dkk. 2016)

2.2 Dasar Teori

2.2.1 *Electro Chemical Machining* (ECM)

Electrochemical Machining (ECM) merupakan salah satu mesin non konvensional yang prinsip kerjanya berdasarkan hukum Faraday (1833). ECM adalah proses elektrolisis dimana pembuangan logam terjadi jika larutan dan benda kerja diberi arus listrik karna terjadinya kimia dari benda kerja (Mcgraw, 2005). Elektrolisis adalah suatu proses kimia yang mana terjadi ketika ada benda kerja *anode* yang terbenam di dalam larutan elektrolit. Contoh dari proses elektrolisis adalah *electro-plating* dan *electro-polishing*. Bentuk pengurangan atom, dalam hal ini disebut *Material Removal Rate* (MRR), pengurangan atom tergantung pada tool dan jenis material yang digunakan. Selain itu, parameter yang mempengaruhi MRR adalah konsentrasi elektrolit, 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. Tidak ada *cutting force* karena elektroda dan benda kerja tidak bersentuhan,
4. Mampu membuat bentuk yang kompleks yang sulit dikerjakan dengan metode konvensional,
5. Dapat digunakan untuk memotong benda yang sangat kecil
6. Elektroda atau pahat lebih awet karena tidak ada keausan pemakaian,
7. *Surface finish* yang baik, dibandingkan dengan mesin konvensional, ECM memiliki *time saving* yang lebih baik,
8. 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 massa ekuivalen tersebut.

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

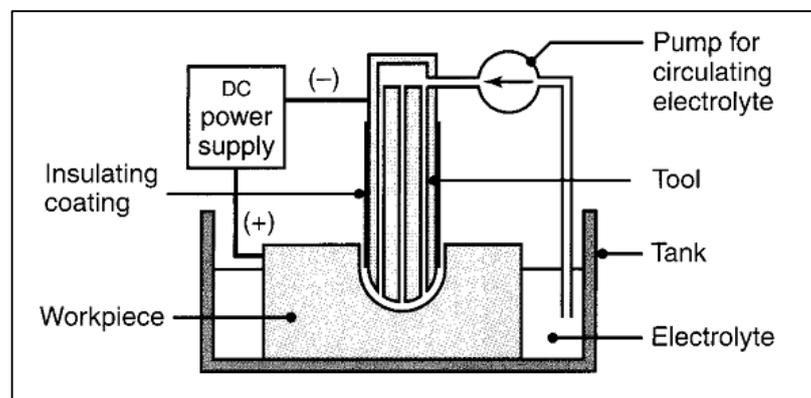
$$\varepsilon = \frac{Ar}{z} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$m = \frac{\varepsilon I t}{96500} \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan,

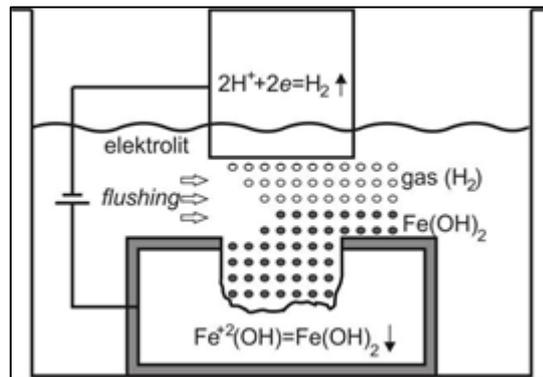
- I : arus listrik, Ampere (A)
- m : massa benda (g)
- t : waktu permesinan, detik (s)
- ε : berat kimia ekuivalen
- Ar : massa Atom relatif
- Z : bilangan oksidasi

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 2.10. 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 2.10 Skema mesin ECM (kalpakjian, 2009)

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 2.11.



Gambar 2.11 Reaksi proses pemesinan ECM pada besi (McGeough, 1988)

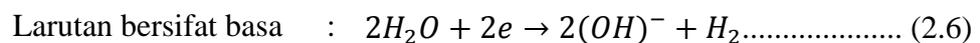
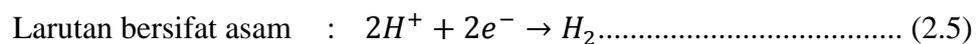
2.2.3 Reaksi kimia pada proses *Electro Chemical Machining* (ECM)

1. Pada Katode (elektroda):

a Proses pelapisan pada ion-ion logam



b Proses pembentukan gas hydrogen

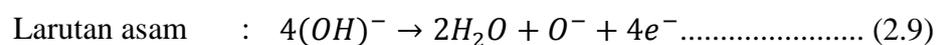
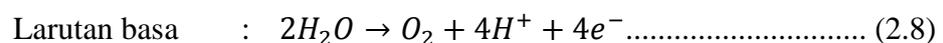


2. Pada Anode (benda kerja)

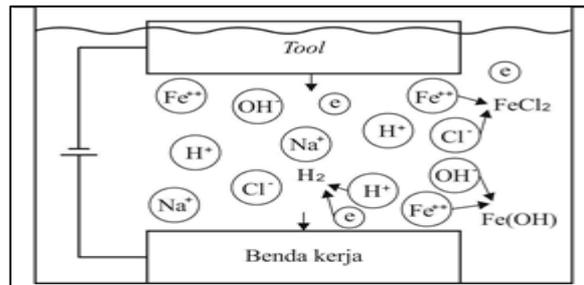
a Proses pelarutan dari ion metal di dalam cairan elektrolit



b Proses pembentukan gas oksigen



- c. Difusi, pergerakan ion akibat adanya medan listrik, seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.12.
- d. Proses konveksi karena aliran elektrolit.



Gambar 2.12 Skema representatif reaksi pada ECM (Tlustý, 2000)

2.2.4 Proses Ideal Pada ECM

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

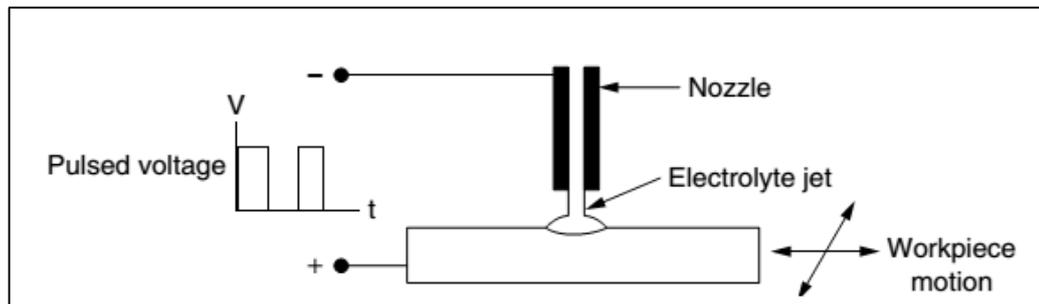
1. Hukum Faraday mencakup seluruh proses pada *gap* antar elektroda dan permukaan benda kerja,
2. Pergerakan ion dan transfer elektron yang mengakibatkan disolusi pada permukaan benda kerja,
3. Konduktivitas elektrik dan termal pada tengah-tengah *gap* bernilai konstan terhadap waktu dan tempat,
4. Beda 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:

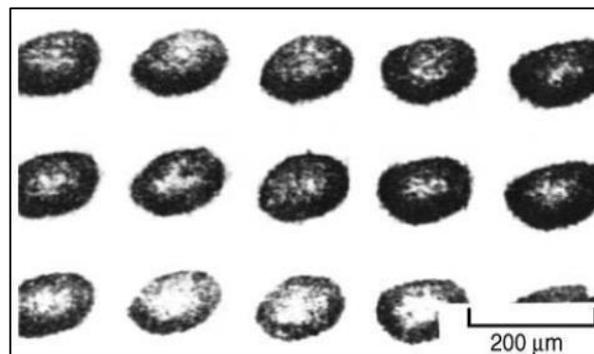
1. *Micro-ECM*

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



Gambar 2.13 *Electrolyte Jet* (McGeough, 2002)

Pada *micro-ECM*, *tool* mikro yang digunakan adalah *electrolyte jet* seperti pada Gambar 2.13 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 2.14.

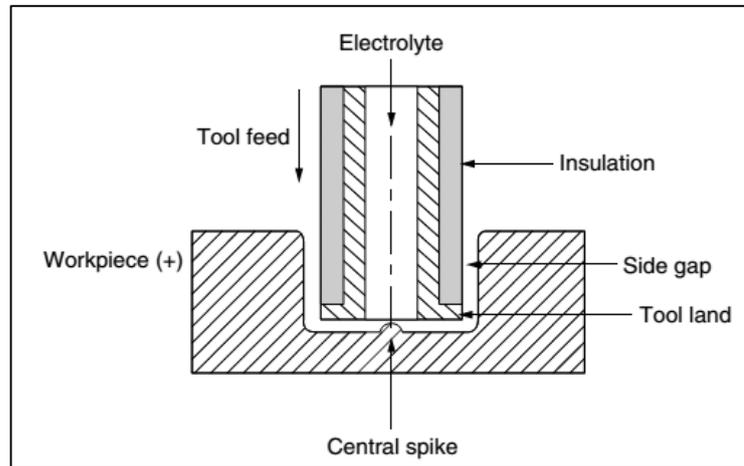


Gambar 2.14 Indentasi (cekungan) pada permesinan mikro
(Masuzawa dan Tonshof, 1997)

2. *Electro Chemical Drilling* (ECDR)

Diameter yang dihasilkan pada *Electro Chemical Drilling* (ECDR) berkisar antara 1 sampai 20 mm dengan laju pemakanan 1 sampai 5 mm/menit. Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.15, *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.

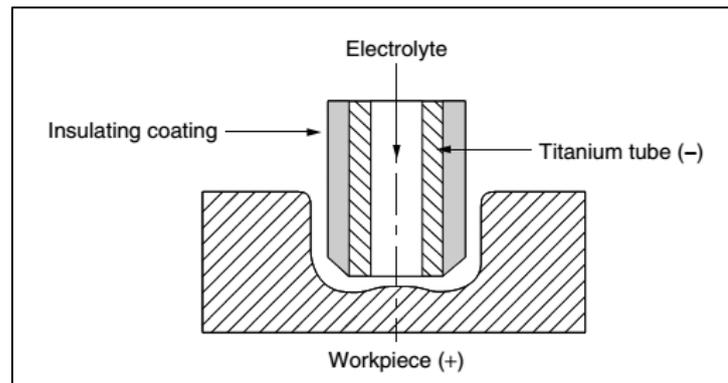


Gambar 2.15 Konfigurasi ECD (El-Hofy, 2005)

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.



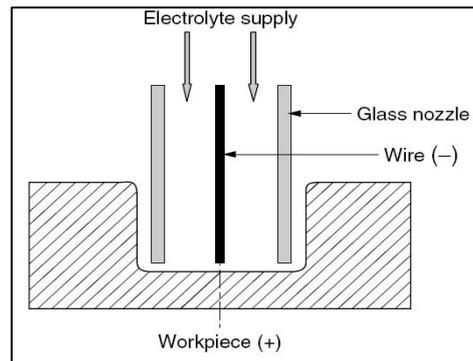
Gambar 2.16 Skema STEM (El-Hofy, 2005)

Sistem konfigurasi permesinan pada STEM adalah sama dengan ECM, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.16 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).

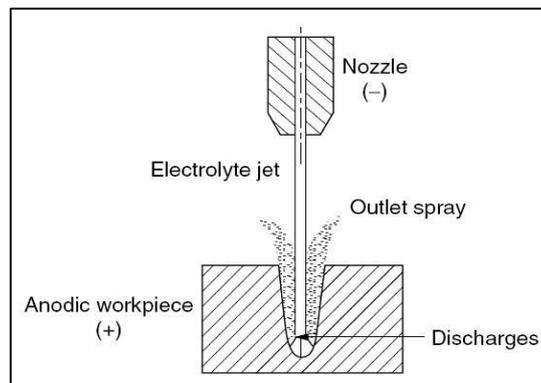
Untuk mengkonduksikan arus pemesinan menuju elektrolit, digunakan kawat platina yang terpasang di dalam *glass nozzle*. Skema *Electrostream (Capillary) Drilling* dapat dilihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 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 2.18 dimana *nozzle* berperan sebagai katodenya.

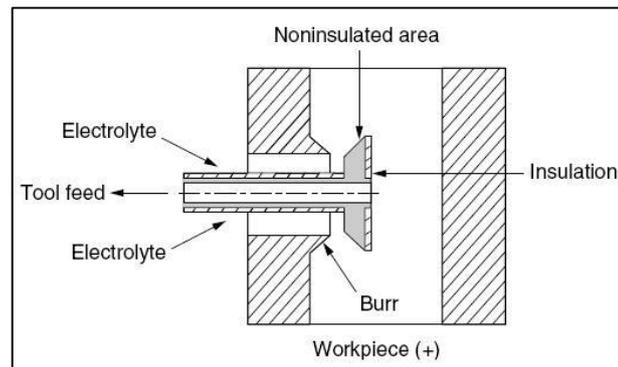


Gambar 2.18 *Electro Chemical Jet Drilling* (El-Hofy, 2005)

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)*

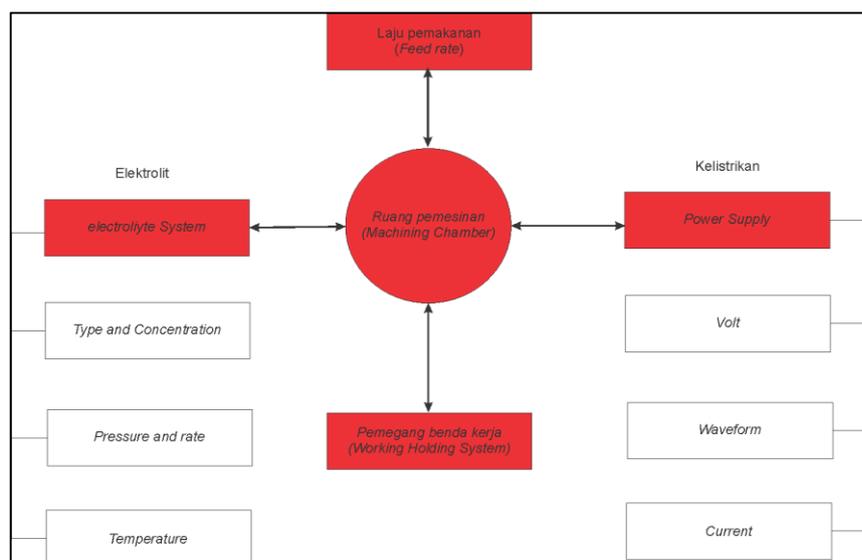
Electro Chemical Deburring (ECDB) digunakan untuk menghilangkan *burr* hasil dari proses pengeboran. *Burr* merupakan sisa material yang tidak diinginkan pada bagian komponen mesin sebagai hasil dari proses manufaktur dan perlu untuk dihilangkan. Mekanisme *deburring* pada ECDB ditunjukkan pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19 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 2.20 berikut.



Gambar 2.20 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 regulated* yang digunakan dalam penelitian ini memiliki spesifikasi berikut ini:

- a. tegangan 0-30 Volt (kontinu atau *pulse*),
- b. kisaran arus antara 1-60 *ampere*,
- c. penyesuaian tegangan pada *gap* berlangsung secara kontinu,

2. Elektrolit

Fungsi utama elektrolit pada proses pemesinan ECM adalah:

- a. Menciptakan kondisi *anodic dissolution* pada material benda kerja,
- b. Menghilangkan *debris* hasil reaksi dari proses ECM akibat aliran elektrolit,
- c. Memindahkan panas (*dissipation*) yang dihasilkan oleh proses pemesinan,
- d. Mempertahankan suhu agar tetap konstan.

Elektrolit yang biasa digunakan adalah Natrium Klorida (NaCl), Natrium Nitrat (NaNO₃), dan Natrium Hidroksida (NaOH). Pengoperasian ECM menggunakan campuran elektrolit yang disesuaikan dengan kebutuhan

Tabel 2.2 Elektrolit dan laju permesinan (*Metals Handbook*, 1989)

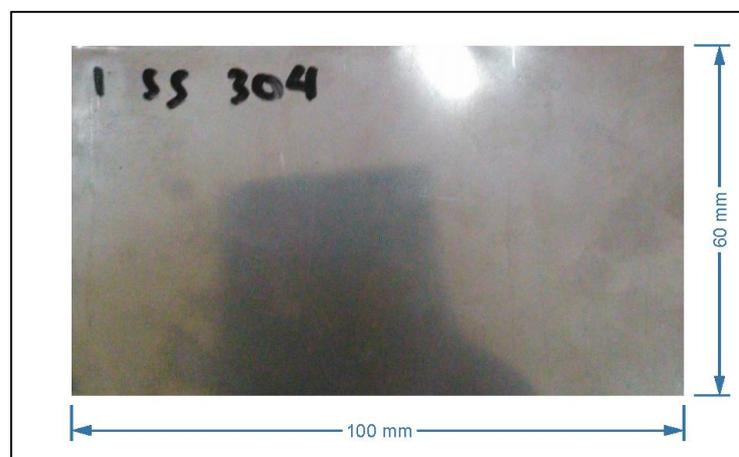
Work material	Electrolyte		
	Constituent	Concentration g/L H ₂ O	Removal rate, mm ³ /(min · A)
Grey iron	NaCl	300	2.0
	NaNO ₃	600	2.0
White cast iron	NaNO ₃	600	1.6
Steel; hardened tool steel	NaClO ₃	780	2.0
Steel; iron-, and nickel-, and cobalt-base alloys	NaNO ₃	600	2.1
	NaCl or KCl	300	2.1
Copper & copper alloys	NaCl or KCl	300	4.4
	NaNO ₃	600	3.3
Tungsten	NaOH	180	1.0
Titanium alloys	NaCl or KCl	120	1.6
Molybdenum	NaOH	180	1.0
	NaCl or KCl	300	1.0
Zirconium	NaCl or KCl	300	2.1

3. *Tool* elektroda

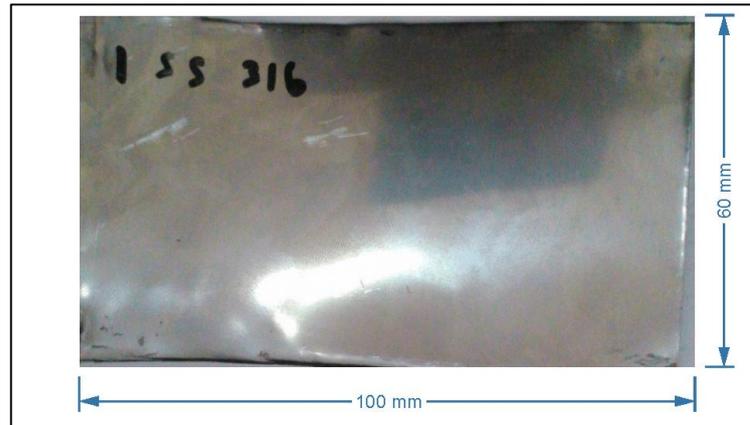
Tool elektroda pada pemessinan ECM harus tahan terhadap karat untuk waktu yang lama dan mampu menghantarkan listrik. Material yang digunakan sebaiknya bersifat anti-karat, mempunyai konduktivitas termal dan konduktivitas listrik yang baik, serta mudah dilakukan pemessinan sesuai geometri yang dibutuhkan.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

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 pemessinan. Kereaktifan unsur benda kerja juga menjadi salah satu faktor yang dapat mempengaruhi hasil pemessinan pada benda kerja. Selain itu, benda kerja yang diproses dengan pemessinan ECM adalah benda kerja yang bersifat mampu mendapat perlakuan panas. Pada penelitian ini material benda kerja yang digunakan adalah plat baja SS 304 dan SS 316, seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.21 dan 2.22.



Gambar 2.21 Plat baja *stainless steel* 304



Gambar 2.22 Plat baja *stainless steel* 316

Plat baja *stainless steel* 304 dan *stainless steel* 316 adalah jenis baja tahan karat yang dibuat untuk diaplikasikan sebagai alat kimia, dan alat pengolahan makanan. Plat baja *stainless steel* 304 dan *stainless steel* 316 merupakan baja perkakas yang dapat dipergunakan dalam industri kimia dan makanan karena memiliki sifat tahan karat yang tinggi dan tahan aus akibat kandungan khromium yang tinggi. Komposisi kimia dari Plat baja *stainless steel* 304 dan *stainless steel* 316 dapat dilihat pada gambar 2.23

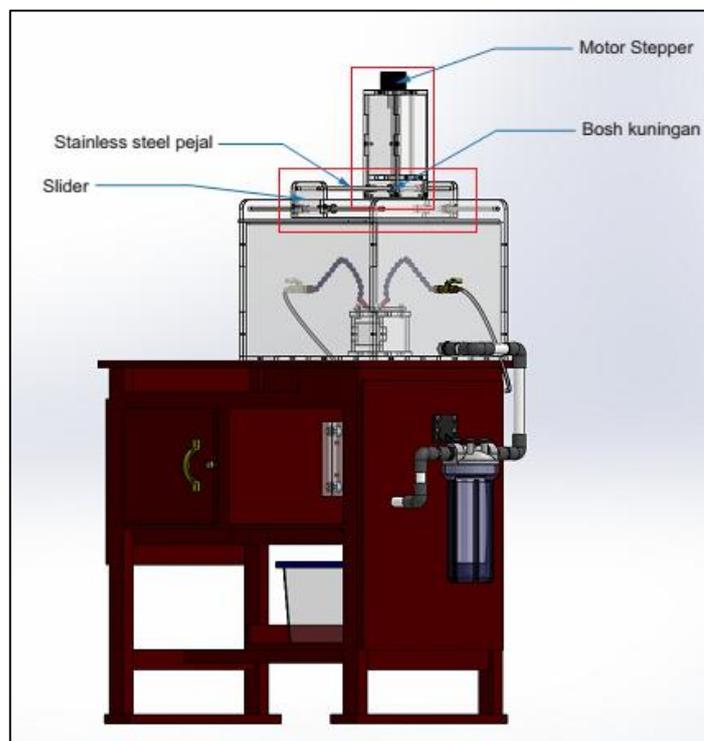
MSDS SS 316		MSDS SS 304	
INGREDIENTS	PERCENT	INGREDIENTS	PERCENT
Iron *	60 - 72 %	Iron *	45 - 70 %
Chromium	16 - 19 %	Chromium	18 - 20 %
Nickel	10 - 15 %	Nickel	8 - 10.5 %
Molybdenum	2 - 3 %	Manganese	0 - 2 %
Manganese	0 - 2 %	Silicon	0 - 1 %
Copper	0 - .5 %	Nitrogen	0 - .10 %
Cobalt	0 - 1 %	Carbon	0 - .08 %
		Phosphorus	0 - .045 %
		Sulfur	0 - .03 %

Gambar 2.23 MSDS Plat *stainless steel* 316 dan plat *stainless steel* 304

(Material safety data sheet, 2014)

5. Sistem mekanik

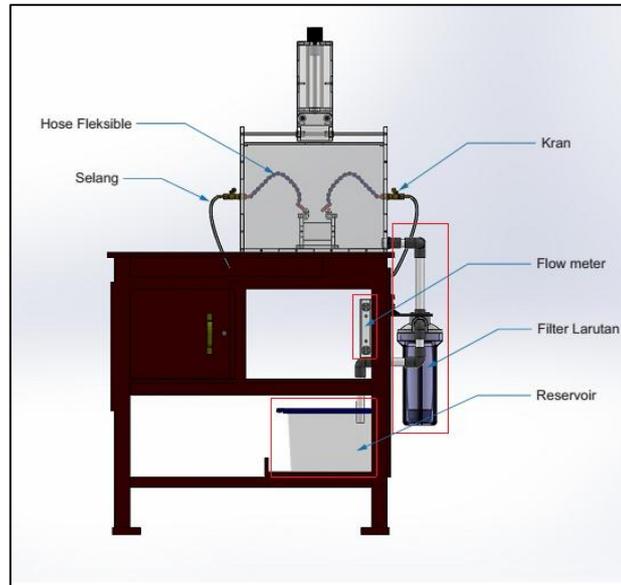
Sistem mekanik sangatlah penting karena Sistem mekanik adalah bagian yang menggerakkan tool dan benda kerja yang akan di *machining*. Pada mesin ECM sistem mekanik haruslah kuat dan tahan terhadap karat supaya umur dari mesin bisa lebih lama. Bahan dari sistem mekanik terbuat dari Akrilik 5-10 mm dan untuk *slider* menggunakan As stainless steel pejal dengan ukuran 8 mm. seperti gambar 2.24



Gambar 2.24. Sistem mekanik

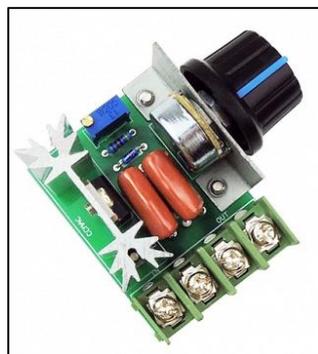
6. Sistem sirkulasi elektrolit

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



Gambar 2.25 Sistem sirkulasi elektrolit

Desain sistem sirkulasi elektrolit mesin ECM *Single Axis*. *Reservoir* dipasang pada posisi paling bawah didalamnya terpasang pompa yang akan mengalirkan elektrolit (bersih) menuju *tool* dan ditampung di bak pemesinan, dari bak pemesinan menampung elektrolit (kotor) akan di alirkan ke filter supaya elektrolit yang di alirkan ke *reservoir* sudah kembali bersih. Pada sistem elektrolit Pompa dapat diatur kecepatannya dengan menggunakan *regulator voltage* 220 volt seperti gambar 2.26 dibawah



Gambar 2.26 *Regulator Voltage* 220 Volt
(<http://www.jogjarobotika.com/Regulatorvoltage>)

7. Sistem kontroler

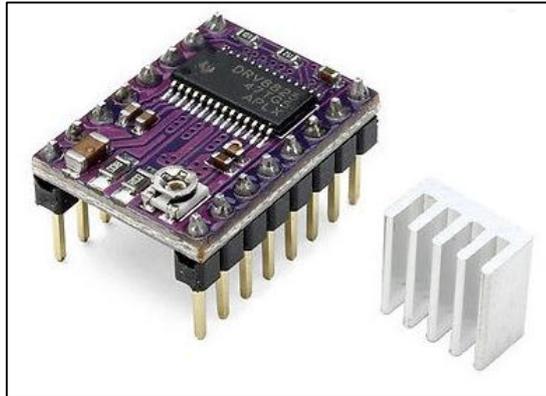
Sistem kontroler adalah komponen elektronik yang menggerakkan motor stepper yang terpasang di sistem mekanik ECM. Kontroler motor *stepper* akan dihubungkan ke motor *stepper* itu sendiri dan disambungkan ke komputer untuk input data. Data yang telah di input dari komputer kemudian dikirimkan ke kontroler, selanjutnya kontroler akan mengirimkan data ke *Driver* motor *stepper* dan motor *stepper* untuk bergerak sesuai input data dari komputer. Sesuai dengan jumlah sumbu yang terdapat pada sistem mekanik mesin yaitu sumbu Z (*single axis*). seperti gamabr 2.27 dan gambar 2.28



Gambar 2.27 Motor *stepper* nema 17
(<http://www.jogjarobotika.com/motor-steper>)



Gambar 2.28. Kontroler ATMEGA16 type A
(www.indo-ware.com/mikrocontrol)



Gambar 2.29 IC DRV8825

(<http://www.jogjarobotika.com/DRV8825>)



Gambar 2.30 USB TTL

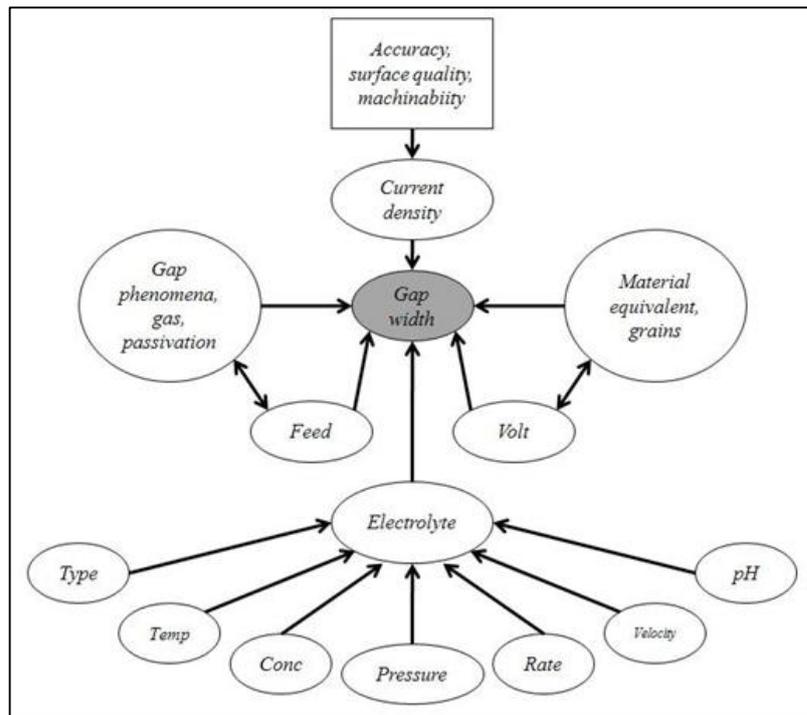
(www.indo-ware.com/usbtll)

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 2.31 berikut:



Gambar 2.31 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.