

BAB II

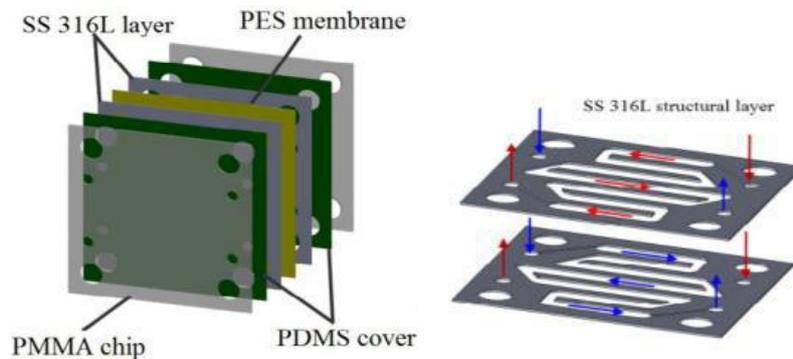
KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Kajian Pustaka

Penelitian mengenai optimasi parameter permesinan telah banyak dilakukan dan semakin bertambah. Penelitian terus berkembang baik dari sisi parameter yang terlibat maupun metodenya. Hal itu dikarenakan standar yang diinginkan dari kualitas produk semakin tinggi, sehingga untuk menghasilkan kualitas produk terbaik, optimasi parameter permesinan sangatlah dibutuhkan.

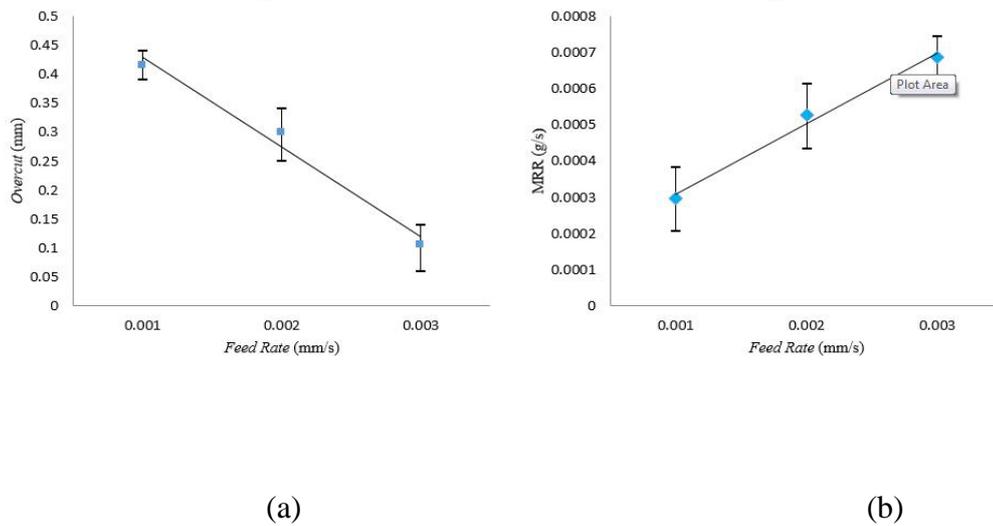
Literatur yang menjadi bahan tinjauan saat melaksanakan penelitian ini adalah tulisan Kao & Hocheng (2003), Nunez dkk. (2013), Satryana (2014), Aladiat (2015), Depari (2015), dan Muliando (2015). Aladiat (2015) melakukan penelitian untuk mengoptimasi parameter permesinan electrochemical machining (ECM). Penelitian ini melibatkan dua parameter, yaitu tegangan dan konsentrasi larutan, dengan tiga level setiap parameternya. Metode desain eksperimen yang dipilih adalah full factorial design. Untuk alasan akurasi, eksperimen direplikasi tiga kali bagi setiap kombinasinya, sehingga membutuhkan 27 kali run. Hasil akhir yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah kombinasi parameter untuk mendapatkan nilai MRR dan overcut terbaik.

Prihandana dkk, pada tahun 2013 telah membuat *microfilter* dengan proses *electropolishing* menggunakan material benda kerja *stainless steel* 316L sebagai anoda dan material titanium sebagai katodanya, sementara itu lapisan membran PES dibuat menggunakan *polyestersulfone polyvinylpyrrolidone* (PES PVP). Gambar 2.1 menjelaskan contoh *microfilter* dan PES.



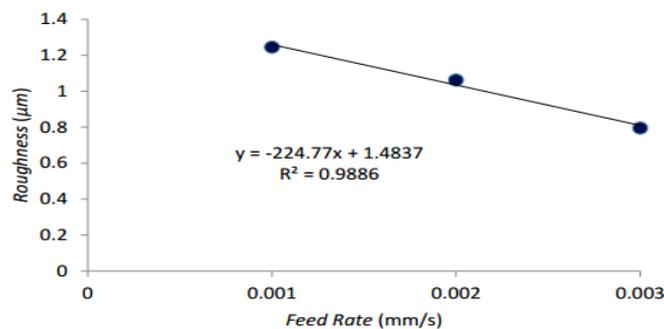
Gambar 2.1 Contoh *microfilter* dan PES (Prihandana dkk, 2013)

Penelitian lain dilakukan 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. Permana menjelaskan bahwa besarnya MRR pada benda kerja berbanding lurus dengan besarnya *feed rate* yang digunakan pada saat pemesinan berlangsung. Kecilnya jarak antara *tool* elektroda dan benda kerja membuat efisiensi arus pemesinan bertambah tinggi. Sebaliknya, *overcut* yang terjadi pada benda kerja berbanding terbalik dengan besarnya *feed rate* pemesinan, 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 2.2.



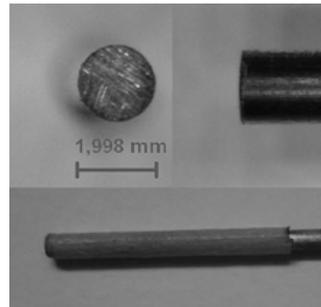
Gambar 2.2. Grafik rata-rata (a) *overcut* dan (b) *MRR stainless steel J-430*
(Permana, 2012)

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 2.3



Gambar 2.3. Grafik rata-rata *surface roughness stainless steel j-430*
(Permana,2012)

Studi eksperimental lain dilakukan oleh Sudiarso dkk, (2013) dengan benda kerja plat kuningan, *stainless steel* 204, dan aluminium 1100, dengan ketebalan masing - masing 1 mm. Elektroda yang digunakan berbahan kuningan dan berdiameter 2 mm, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4.

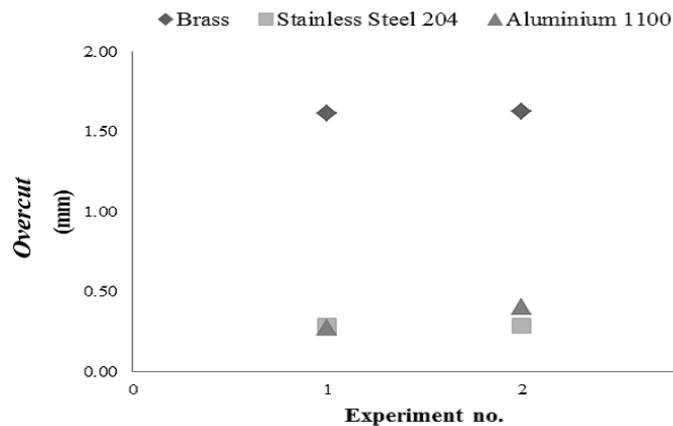


Gambar 2.4 Elektroda kuningan (Sudiarso dkk, 2013)

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 2.5

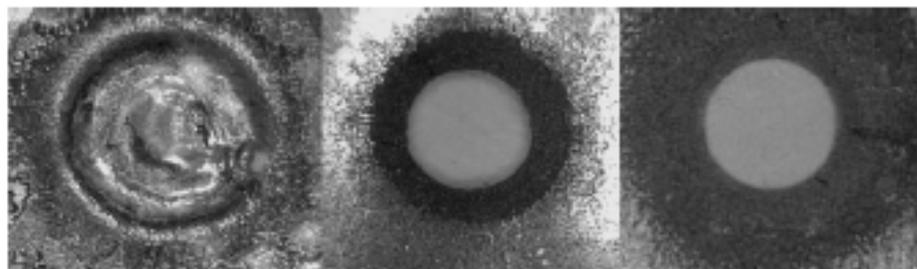
Tabel 2.1 *Overcut* rata-rata dengan elektroda kuningan berdiameter 2 mm (Sudiarso dkk, 2013)

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 2.5 Perbandingan *overcut* (Sudiarso dkk, 2013)

Hasil lubang yang telah dilakukan proses pemesinan ditunjukkan pada Gambar 2.6. Diantara ketiga bahan ini, material kuningan yang belum menghasilkan lubang. Hal ini disebabkan *overcut* yang dibutuhkan kuningan untuk membuat lubang memerlukan waktu lebih besar dari *stainless steel* dan aluminium, yaitu sekitar 11 menit untuk membuat lubang dengan ketebalan 1 mm. Selain itu elektoda yang digunakan yaitu berbahan material kuningan, sehingga benda kerja kuningan dalam prosesnya sering terjadi percikan api. Percikan bunga api ini mempengaruhi hasil dari pemesinan. Seperti yang ditunjukkan Gambar 2.6.



(a)

(b)

(c)

Gambar 2.6 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. Untuk durasi waktu proses mesin yang sama, yaitu 5.5 menit. Untuk material aluminium diameter rata – rata lubang yang dihasilkan adalah 7.72 mm, sehingga rata-rata *overcut* sebesar 0.86 mm, perbandingan *overcut* dengan diameter elektroda sekitar 14.36%. Perbedaan antara elektroda 6 mm dengan 2 mm tidak menghasilkan banyak perbedaan yaitu 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

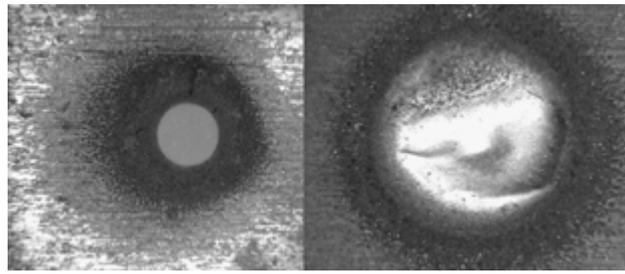
Tabel 2.2 Perbandingan *overcut* rata-rata dan sudut *overcut* rata-rata (Sudiarso dkk, 2013)

NO	Diameter (mm)	Jenis Material	<i>Overcut</i> rata-rata (mm)	Sudut <i>Overcut</i> rata-rata (°)
1	2	Aluminium 1100	0.33	42
2	6	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	Aluminium 1100	0.33	16.50
2	6	Aluminium 1100	0.86	14.36

Sudut *overcut* ditampilkan pada Gambar 2.9 dan 2.10. Dari Gambar 2.8 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 2.8 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 2.7 Hasil lubang 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 tinggi nilai konsentrasi larutan NaCl maka nilai MRR akan semakin besar. Semakin tinggi nilai konsentrasi larutan NaCl 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).

Baroroh (2014) melakukan penelitian untuk optimasi parameter ECM dengan metode permesinan yang lebih dinamis. CNC digunakan sebagai kendali elektroda SS 204 berbentuk silindris, untuk membentuk pola dari *multilayered microfilters*. Parameter yang terlibat dalam optimasi adalah tegangan dan *feed rate*. Metode desain eksperimen yang dipilih adalah *full factorial design*. Tujuan dari penelitian ini adalah mencari MRR, VRR, dan *overcut* yang optimal.

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah perbedaan pengaruh konsentrasi elektrolit serta tegangan, untuk mengetahui hasil pemesinan ECM pada material tersebut. Material yang digunakan adalah kuningan sebagai elektroda dan aluminium sebagai benda kerja. Penulis meneliti hasil pemesinan ECM *portable* menggunakan *tool* elektroda terisolasi statis dengan variabel variasi tegangan dan konsentrasi elektrolit yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi tegangan dan konsentrasi elektrolit terhadap MRR, *overcut*, dan efek tirus pada material aluminium 1100 hasil 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, seta tidak bising selama proses pemesinan,
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.

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.

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

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

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

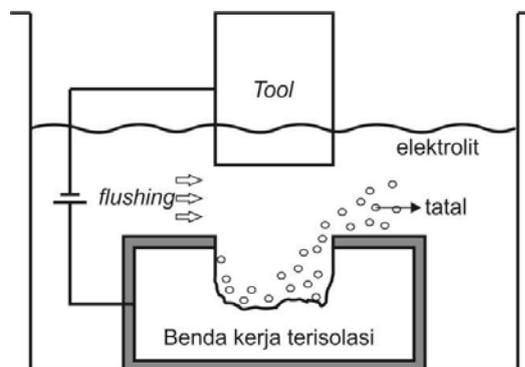
$$m \sim E \dots\dots\dots (2.3)$$

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

dengan,

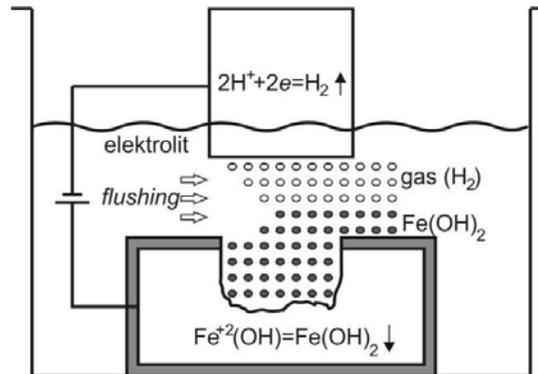
- I : arus listrik, Ampere (A)
- M : massa benda (g)
- t : waktu permesinan, detik (s)
- E : berat kimia ekuivalen
- M : berat atom (g)
- Z : valensi benda kerja

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 2.8. 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 2.8. 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 2.9.



Gambar 2.9. Reaksi proses pemesinan ECM pada besi (McGeough, 1988)

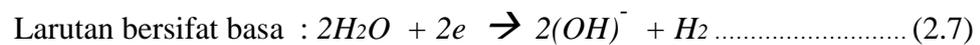
2.2.3. Reaksi kimia pada proses *Electro Chemical Machining* (ECM)

1. Pada Katode (elektroda):

- a. Proses pelapisan pada ion-ion logam



- b. Proses pembentukan gas hydrogen

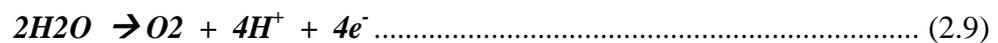


2. Pada Anode (benda kerja)

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

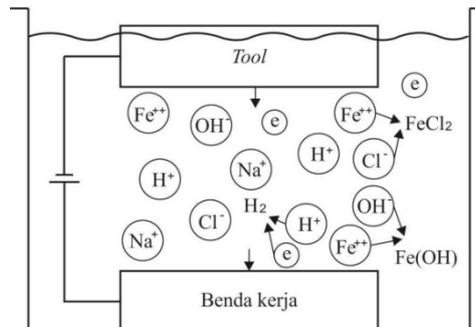


- b. Proses pembentukan gas oksigen



- c. Difusi, pergerakan ion akibat adanya medan listrik, seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.10.

- d. Proses konveksi karena aliran elektrolit.



Gambar 2.10. Skema representatif reaksi pada ECM (Tlustý, 2000)

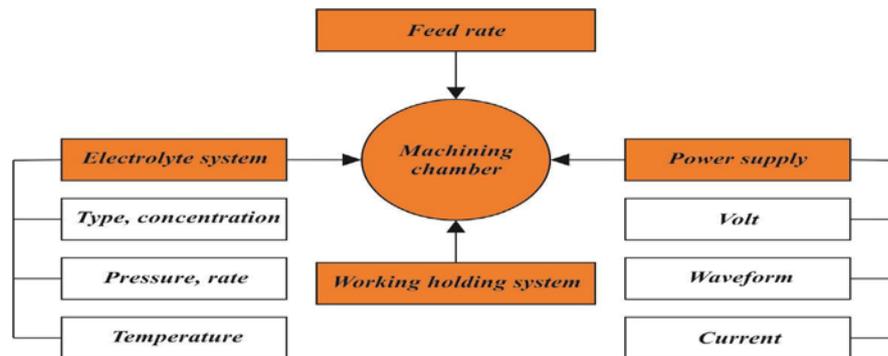
2.2.4. Proses Ideal Pada ECM

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. Peralatan *Electro Chemical Machining*

Komponen utama pada mesin ECM yaitu terdiri dari sistem kontrol pemakanan, sistem elektrolit, *power supply*, dan pemegang benda kerja seperti yang ditunjukkan Gambar 2.21.



Gambar 2.11. Komponen sistem pada ECM (El-Hofy, 2005)

2.2.5.1. 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 2-80 Volt (kontinu atau *pulse*),
2. kisaran arus antara 5-50 *ampere*,
3. penyesuaian tegangan pada *gap* berlangsung secara kontinu,
4. pengendali arus dalam keadaan darurat (*emergency*),
5. proteksi arus pendek (*short circuit*) dalam 0,001 s.

2.2.5.2. 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>		Removal rate, mm ³ /(min·A)
	<i>Constituent</i>	<i>Concentration g/L H₂O</i>	
<i>Grey iron</i>	NaCl	300	2,0
	NaNO ₃	600	2,0
<i>White cast iron</i>	NaNO ₃	600	1,6
<i>Steel; hardened tool Steel</i>	NaClO ₃	780	2,0
<i>Steel; iron-, and nickel-, and cobalt- base alloy</i>	NaNO ₃	600	2,1
	NaCl or KCl	300	2,1
<i>Copper & copper Alloy</i>	NaCl or KCl	300	4,4
	NaNO ₃	600	3,3
<i>Tungsten</i>	NaOH	180	1,0
<i>Titanium alloy</i>	NaCl or KCl	120	1,6
<i>Molybdenum</i>	NaOH	180	1,0

2.2.5.3. 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 tembaga.

Tembaga adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cu dan nomor atom 29. Tembaga berada pada unsur golongan 11 pada tabel periodik dan mempunyai satu elektron orbital-s pada kulit atom d dengan

sifat konduktifitas listrik yang baik. Sifat lunak tembaga dapat dijelaskan oleh konduktivitas listriknya yang tinggi ($59,6 \times 10^6$ S/m) dan oleh karena itu juga mempunyai konduktifitas termal yang tinggi (tertinggi kedua) di antara semua logam murni pada suhu kamar. Tembaga memiliki titik lebur pada 1038°C .



Gambar 2.12. *Tool / elektroda Kuningan*

2.2.5.4. Benda kerja (*workpiece*)

Benda kerja pada ECM haruslah bersifat konduktor listrik yang baik. 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 pemmesinan ECM adalah benda kerja yang bersifat keras, liat, dan mampu mendapat perlakuan panas. Pada penelitian ini saya menggunakan benda kerja plat aluminium dengan tebal 0,4 mm.

Alumunium adalah logam yang paling berlimpah di kerak bumi, dan faktor yang paling berlimpah ketiga setelah oksigen dan silikon. Alumunium terlalu reaktif sebagai logam bebas di alam, terdapat lebih dari 270 paduan antara alumunium dengan mineral lain (Shakhasiri, 2007). Merupakan logam dengan kepadatan rendah (*low density*) dan memiliki kemampuan untuk menahan korosi karena adanya lapisan tipis permukaan alumunium oksida yang terbentuk ketika logam terkena udara. Namun tidak menutup kemungkinan dapat terjadi korosi, karena terjadinya reaksi galvanik. Selain itu, ketahanan terhadap korosi juga sering sangat berkurang ketika banyak terkena air garam, terutama pada logam berbeda (Polmear, 1995).

Alumunium bersifat reaktif sehingga berguna sebagai katalis atau aditif dalam campuran bahan kimia. Daya luluh (yield strength) alumunium murni adalah 7-11 MPa, sedangkan paduan alumunium memiliki daya leleh mulai dari 200 MPa sampai 600 MPa. Aluminium sangat ringan dibandingkan logam lainnya. Aluminium sukar untuk dituang karena merupakan cairan yang kental dan mempunyai susutan besar. Aluminium juga mempunyai daya hantar yang baik serta daya oksidasi yang besar maka aluminium banyak digunakan dalam industri makanan seperti bahan kemas. Dengan alasan tersebut aluminium juga sering dipakai untuk peralatan masak. Hantaran listriknya sekitar 65% dari daya hantar tembaga, tetapi masa jenisnya sekitar satu pertiga sehingga penampangannya sedikit lebih luas. Alumunium memiliki kerapatan dan kekakuan sekitar sepertiga dari baja, sehingga alumunium lebih mudah dikerjakan dengan pemesian dan dicor.

2.2.6 *Material Removal Rate (MRR)*

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

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

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

dengan,

- m : massa dalam gram (g)
- I : arus listrik, *Ampere* (A)
- t : waktu permesinan, 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 :

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

dimana,

MRR : *Material Removal Rate* (g/dt)

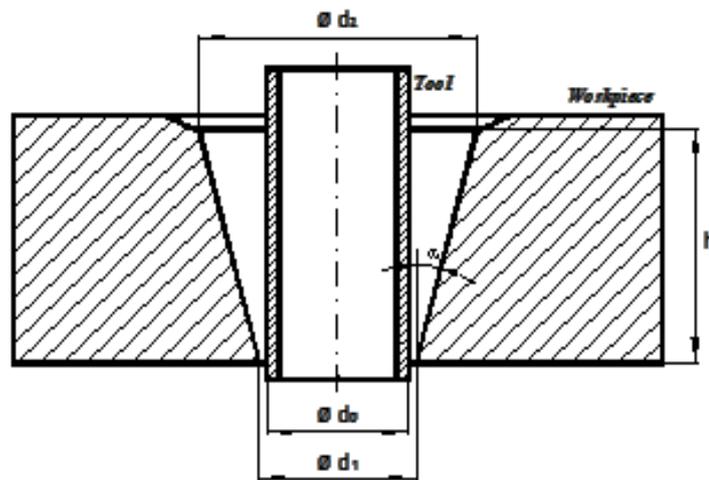
m_o : Massa benda kerja sebelum pemesinan (gram)

m_t : Massa benda kerja setelah pemesinan (gram)

t : Waktu pemesinan (detik)

2.2.7 *Overcut*

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

Jadi *overcut* O_c dirumuskan sebagai-berikut:

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

dengan,

O_c : *overcut*, milimeter (mm)

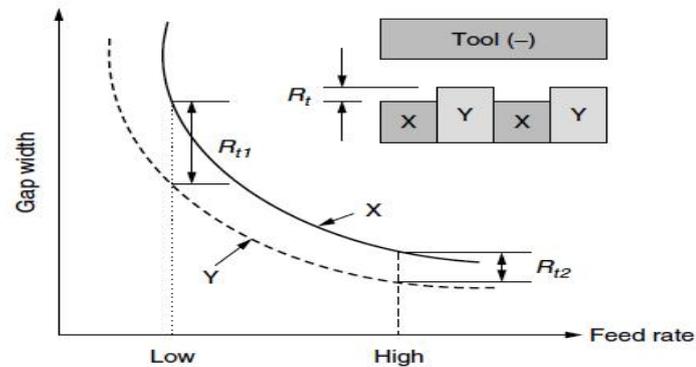
d_2 : diameter hasil drilling ECM bagian depan *workpiece*, milimeter (mm)

d_0 : diameter *tool*, milimeter (mm)

2.2.8 *Surface Finish*

Penyimpangan kristalografis, seperti kekosongan, dislokasi dan batas bulir, struktur dan orientasi kristal yang berbeda, dan komposisi paduan yang mengakibatkan distribusi rapat arus menjadi tidak teratur sehingga terbentuk *peak* dan *valley* secara mikroskopis yang mengindikasikan kekasaran permukaan benda kerja. Konsep kekasaran memiliki implikasi statistik karena mempertimbangkan faktor-faktor seperti ukuran sampel dan interval pengambilan sampel (Amaral dan Chong, 2002) . Mekanisme pembentukan permukaan dapat dipahami pada Gambar 2.22. dimana pengaruh laju pemakanan (*feed rate*) untuk logam paduan yang terdiri dari dua elemen yaitu X dan Y. Elemen X dan Y memiliki laju permesinan yang berbeda. Semakin tinggi laju pemakanan (*feed rate*) maka

surface roughness R_t juga semakin berkurang karena semakin tinggi feed rate maka *overcut* yang terjadi juga semakin kecil.



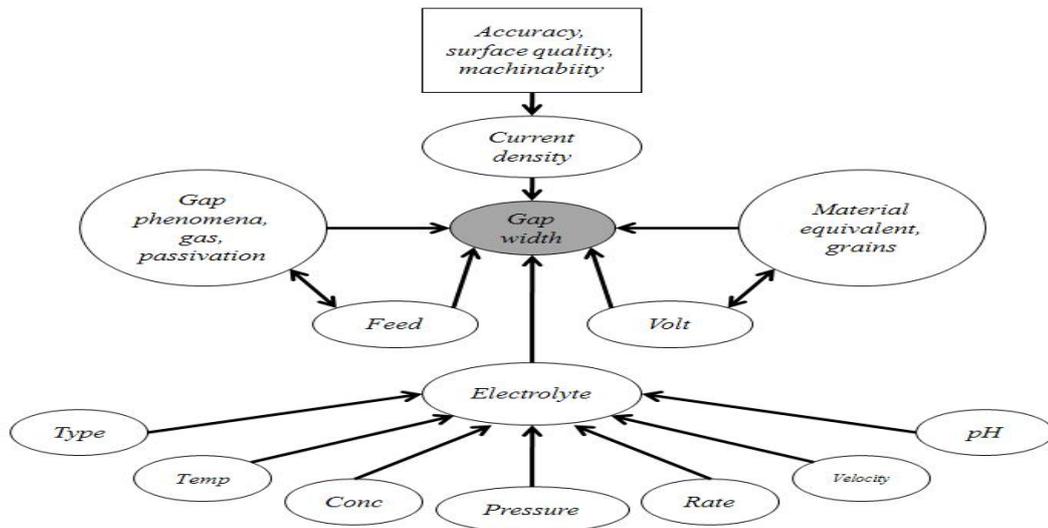
Gambar 2.14. *Surface roughness* yang dihasilkan pada ECM (El-Hofy, 2005)

2.2.9 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 2.15



Gambar 2.15. 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.