BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian tentang *Electrrochemical Machining* (ECM) dimaksudkan untuk menganalisa tentang pengaruh konsentrasi larutan elektrolit yang dihasilkan pada saat proses pemesinan terhadap benda kerja *non masking* dan benda kerja *masking* menggunakan *tool* elektroda kuningan berlubang. Berikut ini tinjauan pustaka dari beberapa hasil penelitian yang sudah dilakukan :

Suhardjono, (2014) yang membahas tentang studi eksperimental variasi konsentrasi elektrolit KCl pada *overcut* dan ketirusan hasil *drillig* proses ECM. Pada pembahasannya tersebut menggunakan variasi 5 konsentrasi KCl yaitu 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 dan 0.3 kg/L larutan. Masing-masing konsentrasi tersebut dilakukan proses *drilling* dengan voltase 12, 24 dan 36 volt. Variabel yang dijaga konstan adalah jarak antara tool dan benda kerja (*gap*) yaitu sebesar 0.5 mm. Hasil dari penelitiannya yaitu *overcut* lubang hasil *drilling* ECM semakin besar dengan semakin besar konsentrasi KCl. Untuk jarak celah (*gap*) antara elektrode dan benda kerja yang konstan, maka kenaikan konsentrasi KCl menyebabkan kenaikkan arus listrik yang melalui celah tersebut. Ketirusan lubang hasil *drilling* ECM naik secara linear dengan naiknya konsentrasi KCl. Tegangan hanya sedikit berpengaruh pada ketirusan lubang hasil *drilling* ECM.

Budiman, (2012) membahas tentang pengaruh variasi konsentrasi larutan terhadap *overcut*, MRR dan *Tapering* pada proses pemesinan ECM. Penelitiannya digunakan untuk pembuatan *punch, dies, cutting tool* dan proses yang membutuhkan sifat tahan korosi menggunakan benda kerja SKD 11. Benda kerja yang digunakan berukuran dengan panjang 100 mm, lebar 36,80 mm, dan tebal 4,2 mm. Pahat yang digunakan adalah tembaga (Cu) yang berbentuk silinder berlubang dengan ukuran diameter dalam sebesar 9 mm dan diameter luar sebesar

10 mm. Pemilihan material pahat tembaga dikarenakan mempunyai sifat konduktor yang tinggi dan mudah didapatkan dimana saja.

Dari hasil analisa hubungan variasi nilai konsentrasi terhadap MRR adalah semakin besar kadar konsentrasi larutan maka semakin besar pula MRR yang dihasilkan, hal ini dikarenakan reaksi kimia antara NaCl dengan H_2O. Semakin banyaknya konsentrasi larutan dari reaksi antara NaCl dan H_2O maka kadar asam (HCl) yang dihasilkan akan semakin meningkat, maka sifat korosif yang dihasilkan akan semakin tinggi. Hal itu yang juga memengaruhi MRR yang terjadi, karena unsur Fe adalah salah satu unsur pembentuk material benda kerja yaitu baja SKD 11 akan mudah terlepas dari logam induknya karena tingginya tingkat intensitas HCl yang terjadi. Jadi apabila semakin tinggi nilai konsentrasi elektrolit maka MRR yang terjadi akan semakin meningkat. Hal itu berlaku pada *overcut* yang terjadi yaitu semakin besar konsentrasi larutan pada proses *electrochemical machining* (ECM) maka *overcut* yang terjadi akan semakin besar, tetapi berbeda dengan *tapering* (efek ketirusan) semakin besar konsentrasi larutan pada proses pemesinan maka *tapering* yang dihasilkan akan semakin menurun. Untuk waktu pengerjaan akan semakin cepat apabila konsentrasi larutan yang dihasilkan semakin tinggi. (Budiman, 2012).

Prasetya (2014) membahas tentang pengaruh cairan elektrolit NaCl terhadap MRR, *overcut* dan *surface roughness* dalam pembuatan *micro-layered microfilter*. *Tool electrode* yang digunakan adalah tembaga, benda kerja alumunium dengan ketebalan 0,3 mm, *gap* 3 mm dan tegangan 10 *volt*, variasi elektrolit NaCl adalah 5, 10, 15, 20, dan 25kg/L. Pada penelitianya didapat nilai MRR terbesar diperoleh pada konsentrasi NaCl 25kg/L yaitu sebesar 1,59 × 10-3 g/dt, nilai *overcut* terkecil diperoleh dengan waktu 4 menit 30 detik pada konsentrasi NaCl 5kg/L yaitu sebesar -0,25 mm, kerapatan arus terbesar diperoleh pada konsentrasi NaCl 25kg/L yang menghasilkan nilai *surface roughness* terkecil, yaitu 3,03 μm.

Widyargo, (2017) telah melakukan penelitian dan menentukan nilai respon terbaik dalam setiap spesimen yaitu, *material removal rate* (MRR) dan *overcut*.

Penelitian ini menggunakan tiga faktor yaitu konsentrasi larutan yang digunakan, tegangan dan *gap* pada proses pemesinan. Masing-masing faktor mempunyai tiga tingkatan yaitu, konsentrasi larutan 10kg/L, 15kg/L dan 20kg/L. tegangan yang digunakan yaitu 7v, 10v dan 15v. *Gap* pemesinan yang digunakan yaitu 0.5 mm, 0.75mm dan 1 mm. Pada penelitian ini dilakukan sebanyak 9 kali percobaan untuk mengetahui kelebihan dan kekurangan hasil pada setiap faktor yang bervariasi. Variasi tersebut meliputi tiga parameter yang digunakan yaitu konsentrasi larutan elektrolit, tegangan yang digunakan dan jarak celah (*gap*) antara tool dan benda kerja. Setelah percobaan dilakukan kemudian dianalisis setiap MRR dan *overcut*-nya untuk mengetahui hasil pemesinan ECM yang paling sempurna.

Hasil dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai konsentrasi larutan maka MRR dan *overcut* yang dihasilkan juga semakin tinggi. Berlaku juga pada nilai tegangan yang digunakan yaitu semakin tinggi tegangan yang digunakan maka semakin tinggi nilai MRR dan *overcut* yang dihasilkan pada tool berpola maupun tool tidak berpola. Berbeda dengan variabel *gap* pada proses pemesinan, semakin kecil *gap* yang digunakan maka MRR dan *overcut* yang dihasilkan akan semakin kecil.

Klockea dkk, (2013) telah melakukan penelitian dengan tjuan untuk meningkatkan efisiensi sebuah mesin dengan perpaduan nikel dan titanium. Pemesinan yang digunakan adalah *Electrochemical Machining* dengan kemampuan MRR tertinggi dan dapat mencapai kualitas permukaan yang terbaik. Pada penelitian ini lebih membahas pada proses pemesinan ECM dari paduan titanium dan nikel untuk keperluan komponen aero. Hasil penelitian yang dibandingkan dengan hukum Faraday diantaranya memiliki MRR yang efektif. Untuk semua titanium yang dianalisis nilai MRR hampir sama dengan Veff, Ti $\approx$ 1,78 mm^3 / (Amin). Pada kasus material paduan berbasis nikel ternyata lebih banyak mendegradasi struktur mikro yang lebih baik. Semua *superalloy* dianalisis dan menunjukkan hasil yang baik pada nilai MRR bearada pada kisaran 1,51 mm^3 / (Amin) $\leq$ Veff, Ni $\leq$ 2.13 mm^3 / (Amin). Analisis SEM dan EDX menunjukkan tidak ada zona yang terkena atau atom asing menyebar dari elektrolit.

Satya, (2013) telah melakukan penelitian dengan melakukan pembuatan mesin CNC (*Computer Numerical Control*) micro-EDM (*Electro Discarge Machining*) dan *micro*-ECM (*Elektro Chemical Machining*). Proses pemesinan dilakukan dengan pemesinan *micro*-EDM saja dan dua jenis pemesinan yaitu pemesinan *micro*-EDM kemudian dilanjutkan dengan pemesinan *micro*-ECM. Pada penelitian ini, pengujian pemesinan dilakukan untuk mengetahui variasi tegangan terhadap nilai *overcut*, MRR dan *surface roughness*. Eletroda yang digunakan yaitu *brass* dan benda kerjanya adalah *stainless steel* 204 terisolasi dan tanpa isolasi. Tegangan merupakan parameter terpenting dalam proses pemesinan ini, adapun tegangan yang digunakan yaitu 20, 25, dan 30 volt. Hasil yang diperoleh pada pemesinan *micro*-EDM saja menunjukkan nilai rata-rata *overcut* terkecil diperoleh pada tegangan 20 volt dengan nilai 0.042 mm, sedangkan pada dua jenis pemesinan *micro*-EDM dan *micro*-ECM nilai rata-rata *overcut* terkecil diperoleh pada tegangan 20 volt dengan nilai 0.942 mm. Nilai rata-rata MRR terbesar yang diperoleh pada pemesinan micro-EDM saja diperoleh pada tegangan 30 volt dengan nilai 10^{-5} gram/s, sedangkan pada dua jenis pemesinan *micro*-EDM dan *micro*-ECM nilai rata-rata terbesar pada tegangan 30 volt dengan nilai 9.166 x 10^{-5} gram/s. Pada pemesinan *micro*-EDM saja didapatkan nilai rata-rata *surface roughness* terbesar pada tegangan 30 volt dengan nilai 519,74 μm, sedangkan pada dua jenis pemesinan diperoleh nilai rata-rata *surface rougness* terbesar pada tegangan 30 volt dengan nilai 769.82 μm.

Septiaji, (2016) telah melakukan penelitian tentang analisa perhitungan MRR, *overcut* dan ketirusan pada *stainless stell* 304 dan aluminium 1100 dengan pengaruh variasi tegangan dan *gap* pada proses pemesinan ECM menggunakan elektroda terisolasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil antara benda kerja *stainless stell* 304 dengan aluminium 1100 menggunakan mesin ECM dengan variasi seperti diatas. Ukuran benda kerja 0.4 mm dan elektroda yang digunakan adalah elektroda terisolasi. Waktu dari tiap benda kerja yaitu *stainless steel* 304 adalah 371 detik dan aluminium 1100 selama 193 detik.

Proses pemesinan membutuhkan waktu yaitu 371 detik untuk menghasilkan lubang, dikarenakan menggunakan elektroda terisolasi. Material yang tidak berlubang disebakan karena proses *tool speed* terlalu cepat dan pemakanannya terlalu banyak, mengakibatkan elektroda menempel pada material dan arus yang dialirkan menurun. Pada proses ini material aluminium 1100 hanya membutuhkan waktu 193 detik untuk menghasilkan lubang, lebih cepat dari waktu yang dibutuhkan *stainless steel* yaitu 371 detik. Untuk proses pemakanannya elektroda turun 0,1 mm setiap 45 detik. Setelah diketahui waktu yang dihasilkan pada proses pemesinan, analisa selanjutnya adalah untuk mengetahui pengaruh arus terhadap waktu pemesinan. Grafik dijelaskan pada gambar 2.9, 3.0 dan 3.1. Pengukuran *overcut* sama dengan penelitian lainnya yaitu menggunakan aplikasi *ImageJ*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan variasi yang telah ditetapkan dan waktu pemesinan hingga benda kerja berlubang. Setelah terkumpulnya ukuran dan fenomena *overcut* yang terjadi, lalu dilakukan perhitungan untuk mengetahui hasil yang ditimbulkan pada berbagai variasi yang ditetapkan pada masing – masing benda kerja.

Dari beberapa kajian pustaka diatas maka dapat ditarik kesimpulan yaitu faktor utama yang memengaruhi proses pemesinan *Elektrochemical Machining* diantaranya yaitu konsentrasi larutan elektrolit, tegangan yang digunakan, jarak celah (*gap*) antara tool dengan benda kerja dan besarnya arus yang dialirkan pada saat proses pemesinan. Nilai konsentrasi dan nilai tegangan memiliki pengaruh berbanding lurus dengan nilai MRR dan *overcut*. Berbeda dengan jarak celah (*gap*) yang memiliki pengaruh yang berbanding terbalik dengan MRR dan *overcut*. Perlakuan benda kerja dengan diberikan masking dan nonmasking akan memberikan dampak pada nilai ketirusan.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 *Electrochemical Machining*

Electrochemical Machining (ECM) adalah salah satu mesin non konvensional yang proses pemesinannya menggunakan cairan elektrolit sebagai medianya dan

arus listrik DC sebagai aliran listriknya. (Tlusty, 2000) prinsip dasar ECM adalah proses dari *anodic dissolution* dalam penguraian suatu larutan elektrolit yang dialiri oleh arus listrik (elektrolisis). Dari keterangan (McGeough, 1988) ECM adalah proses pemesinan yang cara kerjanya mengikis/ menghilangkan atom pada permukaan benda kerja. Mengacu pada hukum Faraday (1833), yaitu dua buah logam elektroda yang direndam dengan larutan elektrolit lalu partikel pada *anode* akan terkikis dan menempel ke *cathode*. Pengikisan atom ini dinamakan *Material Remove Rate* (MRR) karena permukaan benda kerja mengikuti bentuk dan gerakan *tool* terhadap benda kerja. Nilai MRR juga dipengaruhi oleh kerapatan arus dan ukuran *gap* elektroda dengan benda kerja. Apabila suplai aliran arus yang tinggi akan menghasilkan MRR yang tinggi.

Proses pemesinan ECM memanfaatkan energi listrik dan larutan elektrolit sebagai cara kerjanya karena *tool* elektroda sebagai *cathode* dan benda kerja sebagai *anode* yang keduanya mempunyai sifat konduktor. Contohnya adalah proses *electroplating* dan *electropolishing* yang disebut proses elektrolisis yaitu proses kimia dimana terjadi arus listrik melewati dua buah elektroda yang telah terbenam oleh larutan elektrolit. Larutan elektrolit yang digunakan pada penelitian ini menggunakan larutan NaCl, karena cairan ini digunakan untuk media pengkorosifan yang efektif untuk benda kerja, disamping itu NaCl adalah bahan yang ramah lingkungan, tidak berbahaya, tidak beracun dan mudah didapatkan.

Beberapa kelebihan yang dimiliki mesin ECM adalah sebagai berikut :

1. Tidak ada kontak antara *tool* elektroda dan benda kerja, sehingga pahat tidak mudah aus.
2. Hasil permukaan setelah proses pemesinan relatif halus.
3. Elektroda maupun benda kerja terhindar dari panas karena telah disemprot dengan larutan NaCl.
4. Mampu mengerjakan benda kerja yang memerlukan bentuk sangat kompleks.
5. Mampu melakukan proses pemesinan dengan material yang sangat keras.

6. Waktu yang dibutuhkan mesin ECM lebih cepat dibandingkan mesin konvensional.
7. Pada proses pemesinan tidak mengeluarkan suara, dikarenakan tidak ada *cutting force* dan elektroda tidak menyentuh benda kerja.
8. Bisa digunakan untuk pemotongan benda kerja dengan ukuran yang sangat kecil dan sudut yang kecil.
9. Fluida yang digunakan selain untuk mengkorosifkan benda kerja juga bisa menjadi pendingin.

Adapun kekurangan yang dimiliki oleh mesin ECM, antara lain :

1. Membutuhkan konsumsi energi yang cukup besar.
2. Perancangan mesin ECM yang cukup rumit.
3. Banyaknya pengikisan benda kerja tergantung daya yang digunakan pada pemesinan.
4. Elektrolit yang digunakan selain untuk mengkorosifkan benda kerja, bisa juga mengkorosifkan elektroda jika perawatannya kurang baik.

2.2.2 Prinsip Kerja *Electrochemical Machining* (ECM)

Apabila dua buah logam elektroda yang direndam dengan larutan elektrolit dan telah dialiri arus listrik DC, lalu akan terjadi proses elektrolisis. Setelah itu partikel – partikel *anode* akan terkikis dan berpindah ke *cathode*. Dasar dari proses pemesinan ECM adalah *anodic dissolution* yang terjadi pada benda kerja.

Proses elektrolisis dinyatakan dalam hukum Faraday adalah sebagai berikut :

1. Jumlah massa yang hilang pada proses pemesinan, *m*, juga berbanding lurus dengan jumlah muatan listrik.

   $$m = l \cdot t \quad \text{.....} \quad \textbf{(2.1)}$$

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

   $$m = E \quad \text{.....} \quad \textbf{(2.2)}$$

$$E = \frac{M}{Z} \quad \text{.....} \quad \textbf{(2.3)}$$

Keterangan :

I : arus listrik (A)

m : massa benda kerja (g)

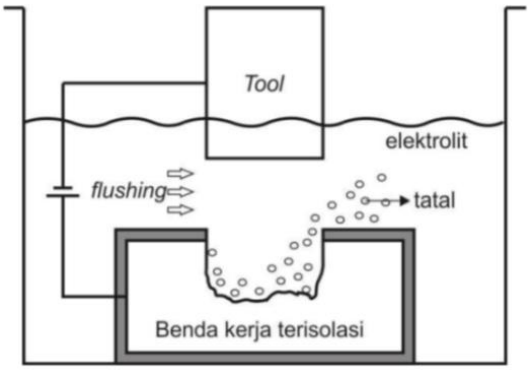
t : waktu proses pemesinan (s)

E : berat kimia ekuivalen

M : berat atom (g)

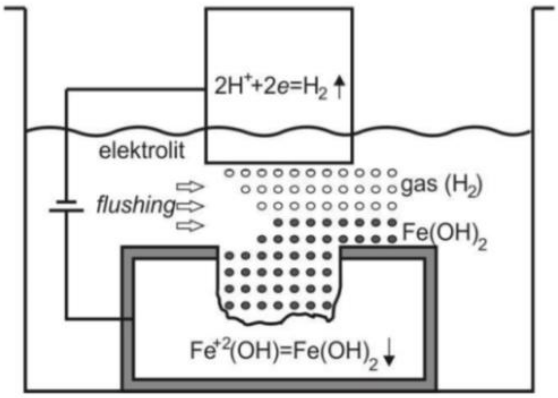
Z : valensi benda kerja

Prinsip kerja mesin ECM adalah pengerjaan material dengan cara *anodic dissolution* (pelarutan anodis) dari material benda kerja oleh cairan elektrolit yang mengalir melewati *gap* antara elektroda (*cathode)* dengan benda kerja (*anode*). Pada proses ini benda kerja sebagai *anode* yang dihubungkan sumber arus DC positif (DC+), sedangkan pada *tool* elektroda (*cathode*) dihubungkan sumber arus DC negatif (DC-) dan cairan elektrolit dilewatkan antara elektroda dan benda kerja. Prinsip kerja ECM dijelaskan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Prinsip kerja mesin ECM (McGeough, 1988)

Pernyataan McGeough (1988) adalah ketika penerapan beda potensial pada elektroda, maka akan terjadi kemungkinan reaksi yang terjadi pada benda kerja dan elektroda (*anode* dan *cathode*). Seperti pada gambar 2.2



Gambar 2.2. Reaksi proses pemesinan ECM pada material besi (McGeough, 1988)

2.2.3 Reaksi kimia pada proses *Electrochemical Machining* (ECM)

1. Pada katoda (*electode*)
   a. Proses pelapisan ion-ion logam

      $M^{+} + ze^{-} \rightarrow M$ …….…… (2.5)

   b. Proses terbentuknya gas hydrogen

      Larutan yang memilki sifat asam : $2H^{+} + 2e^{-} \rightarrow H_2$……. . (2.6)

      Larutan yang memiliki sifat basa : $2H_2O + 2e \rightarrow 2(OH)^{-} + H_2$… (2.7)

2. Pada anoda (benda kerja)
   a. Proses pelarutan ion material di dalam elektrolit

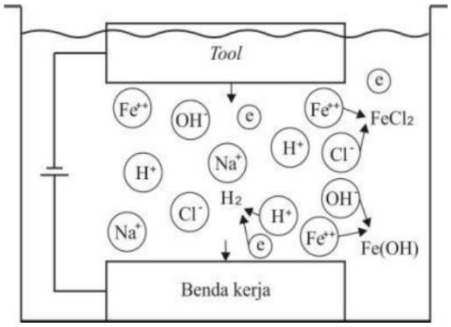
      $M \rightarrow M^{+} + ze^{-}$…… (2.8)

   b. Proses pembentukan oksigen

      Larutan yang memilki sifat asam: $2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^{+} + 4e^{-}$…. (2.9)

      Larutan yang memilki sifat basa : $2H_2O + 2e \rightarrow 2(OH)^{-} + H_2$ (2.10)

   c. Pengerakan ion karena adanya medan listrik serta difusi, ditunjukan pada Gambar 2.14.
   d. Proses konveksi karena adanya aliran elektrolit.

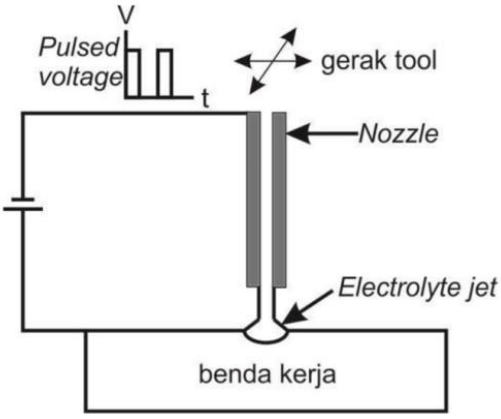


Gambar 2.3. Skema representatif reaksi kimia pada ECM (Tlusty, 2000).

2.2.4 Jenis – jenis mesin *Electrochemical Machining* (ECM)

Adapun beberapa jenis mesin *electrochemical machining* menurut kebutuhan pemesinan yang diperlukan, antara lain :

2.2.4.1 *Micro*-ECM

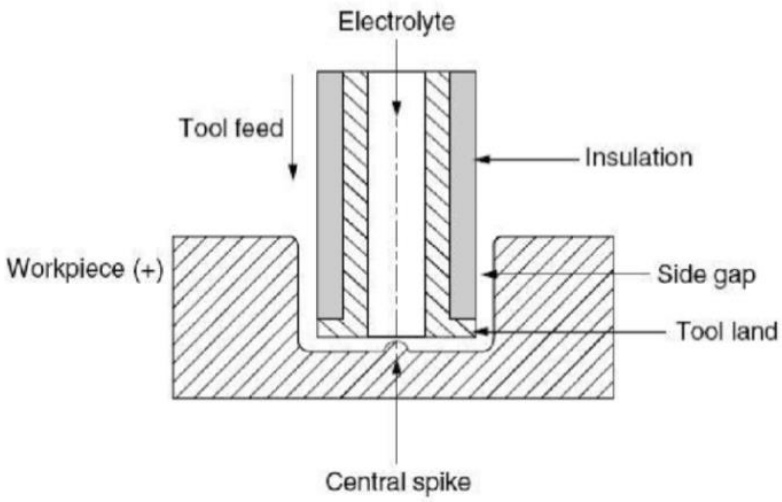


Gambar 2.4. *Electrolyte jet* (EI-Hofy, 2005)

Pada mesin micro-ECM menggunakan *tool* mikro sebagai *electrolyte jet*, dimana pergerakan dari benda kerja terhadap *tool*-nya. Mesin micro-ECM menggunakan *pulse current* (arus kontak) karena dapat menghasilkan cekungan kecil pada saat proses pemesinan.

2.2.4.2 *Electro Chemical Drilling* (ECDR)

Mesin *Electro Chemical Drilling* menggunakan *tool* elektroda yang berlubang atau berbentuk pipa (*tubular*). Ukuran diameter lubangnya berkisar antara 1 sampai 2 mm dan laju pemakanan mesin ini 1 sampai 5 mm/menit. Lubang pada elektroda berfungsi sebagai jalur keluar cairan elektrolit. Proses pemesinan *Electrochemical Drilling* ditunjukkan pada gambar 2.5. Pada keterangan gambar 2.5 menjelaskan proses pemakanan pada mesin *Electro Chemical Drilling* terjadi ke arah lateral yaitu antara permukaan benda kerja dan permukaan samping *tool* sehingga hasil dari diameter lubang benda kerja lebih besar daripada diameter *tool*.



Gambar 2.5. Konfigurasi *Electro Chemical Drilling* (El-Hofy, 2005)

Apabila kebutuhan benda kerja ingin membutuhkan *oversize* diameter yang rendah dan juga akurasi yang tinggi disarankan laju pemakanan yang digunakan juga harus tinggi, sehingga dengan kondisi yang sama hasil dari MRR dan *surface roughness* pun jadi lebih tinggi.

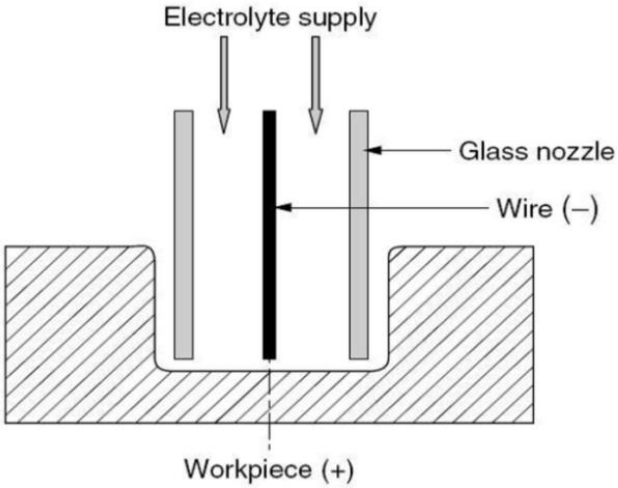
Mesin *Electro Chemical Drilling* menggunakan *tool* elektroda yang berlubang atau berbentuk pipa (*tubular*). Ukuran diameter lubangnya berkisar antara 1 sampai 2 mm dan laju pemakanan mesin ini 1 sampai 5 mm/menit. Lubang pada elektroda berfungsi sebagai jalur keluar cairan elektrolit.

Pada keterangan gambar diatas menjelaskan proses pemakanan pada mesin *Electro Chemical Drilling* terjadi ke arah lateral yaitu antara permukaan benda

kerja dan permukaan samping *tool* sehingga hasil dari diameter lubang benda kerja lebih besar daripada diameter *tool*. Apabila kebutuhan benda kerja ingin membutuhkan *oversize* diameter yang rendah dan juga akurasi yang tinggi disarankan laju pemakanan yang digunakan juga harus tinggi, sehingga dengan kondisi yang sama hasil dari MRR dan *surface roughness* pun jadi lebih tinggi.

2.2.4.3 *Electrostream* (*Capilary*) *Drilling*

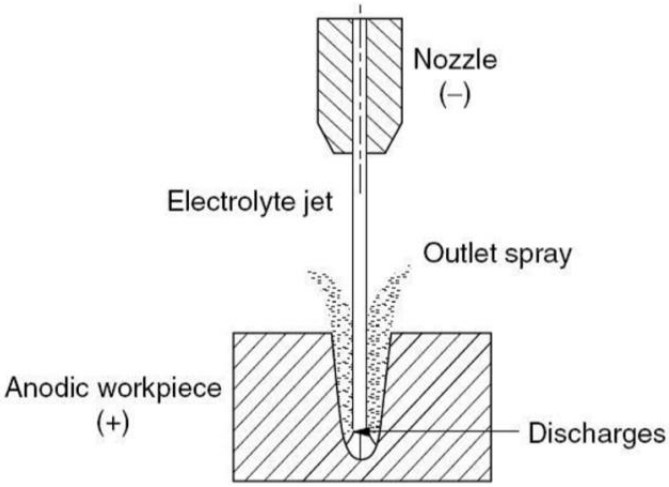
Merupakan salah satu pengembangan dan teknik khusus dari mesin ECM untuk membuat lubang yang sempurna karena EDM mempunyai kegunaan untuk membuat lubang yang lebih dalam dibandingkan dengan STEM yang cuma bisa membuat lubang yang terlalu kecil. *Tool* yang digunakan dalam mesin EDM ini adalah berbahan *glass nozzle* dengan diameter 0,025 sampai 0,50 mm. Cara pengkonduksian arus pemesinan ke cairan elektrolit menggunakan kawat platina yang sudah terpasang pada *tool* (*glass nozzle*).



Gambar 2.6. Skema pada *Electrostream* (*Capillary*) *Drilling* (El-Hofy, 2005)

2.2.4.4 *Electro Chemical Jet Drilling* (ECJD)

Penggunaan *Electro Chemical Jet Drilling* efektif digunakan untuk membuat lubang yang lebih kecil dan dapat dicapai dengan menggunakan *Electrostream* (*Capillary*) *Drilling*. Pada mesin *Electro Chemical Jet Drilling* menggunakan *cathode* sebagai *nozzle*nya.

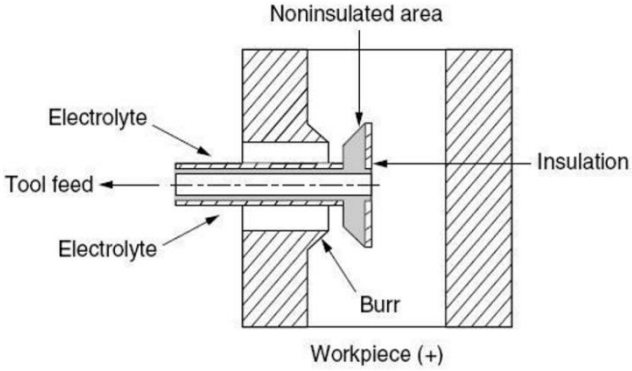


Gambar 2.7. *Electro Chemical Jet Drilling* (ECJD) (El-Hofy, 2005)

Pada mesin *Electro Chemical Jet Drilling* menggunakan tegangan listrik berkisar antara 400 sampai 800 *volt*. Lubang hasil proses pemesinan ECJD lebih besar dibandingkan *Electrolyte Jet* karena proses disolusi pada mesin ECJD menggunakan tekanan air dari *nozzle*.

2.2.4.5 *Electro Chemical Deburring* (ECDB)

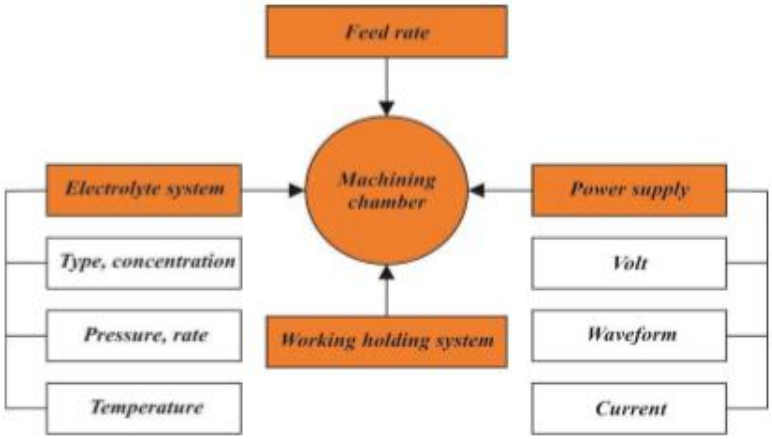
Burr adalah sisa material pada bagian komponen mesin dari proses pengeboran yang harus dihilangkan, dan *Electro Chemical Deburring* (ECDB) sebagai alat untuk mengilangkan *burr* tersebut pada mesin non konvensional.



Gambar 2.8. Proses Mekanisme mesin ECDB (El-Hofy, 2005)

2.2.5 Peralatan pada mesin *Electro Chemical Machining* (ECM)

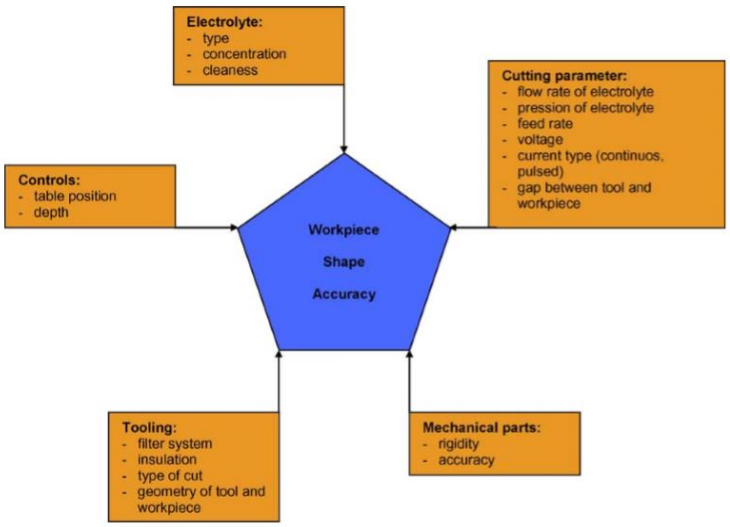
Komponen utamanya mesin ECM terdiri dari sistem kontrol pemakanan, sistem kontrol elektrolit, *power supply* dan cekam untuk memegang benda kerja. Ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.9. Komponen sistem pada mesin ECM (El-Hofy, 2005)

2.2.6 Keakuratan Mesin ECM

Keakuratan mesin ECM sangat bergantung pada densitas arus yang telah dipengaruhi oleh parameter pengujian antara lain variasi *flow rate electrolyte, gap, voltage* dan *feed rate.* Selain menggunakan variasi parameter pengujian, bisa menggunakan alat bantu seperti *filler system* untuk mengetahui keakuratan yang dibutuhkan. Keakuratan hasil dari proses pemesinan ECM dapat diukur melalui ukuran *overcut* yang dihasilkan setelah proses pemesinan. Setelah proses pemesinan selesai *overcut* diukur dan dibandingkan dengan ukuran lubang yang akan dibuat. Semakin kecil ukuran *overcut* maka semakin akurat hasil pemesinan tersebut. Tetapi apabila semakin besar nilai overcut yang dihasilkan maka akan mempengaruhi hasil pemesinan tersebut. Faktor keakuratan pada hasil pemesinan ECM dijelaskan pada gambar 2.9.



Gambar 2.10. Beberapa faktor yang mempengaruhi keakuratan pada mesin ECM (Neto J. dkk. 2006)

2.2.7 *Power Supply*

Power supply terdiri dari dua jenis yaitu *power supply regulated* yaitu tegangannya tetap konstan bila dikenai beban dan *power supply unregulated* yaitu tegangannya akan berubah bila dikenai beban. Pada penelitian ini menggunakan *power supply unregulated* dikarenakan tegangan yang diberikan berubah ubah dan untuk mengetahui perubahan tegangan yang terjadi. Spesifikasi *power supply* yang digunakan sebagai berikut :

a. Kapasitas tegangan 2-80 *volt* (kontinu atau *pulse*)
b. Besar arus antara 5-50 *A*
c. *Short circuit* sebesar 0,001 s
d. Memilik sistem *current control emergency*

2.2.8 Cairan Elektrolit

Cairan elektrolit yang digunakan pada penelitian ini adalah larutan NaCl, kadar konsentrasinya yaitu sebesar 10 kg/L, 15 kg/L, 20 kg/L. Fungsi dari elektrolit pada mesin ECM adalah sebagai berikut :

a. Sebagai media konduktor arus pemesinan
b. Untuk menghilangkan tatal setelah proses pemesinan
c. Sebagai pendingin
d. Membuat kondisi *anodic dissolution* pada material benda kerja

Selain menggunakan *Natrium Chloride* (NaCl), mesin ECM juga menggunakan larutan lainnya seperti *Natrium Nitrat* (NaNO3) dan *Natrium Hidroksida* (NaOH). Penggunaan larutan elektrolit digunakan sesuai kebutuhan pemesinan ECM.

Tabel 2.1 Jenis elektrolit dengan konsentrasinya dan laju pemesinan pada berbagai macam material benda kerja

Work material	*Electrolyte*		Removal rate, $mm^3/(min \cdot A)$
	Constituent	*Concentration g/L H_2O*	
Grey iron	N_aCl N_aNO_3	300 600	2,0 2,0
White cast iron	N_aNO_3	600	1,6
Steel; hardened tool Steel	N_aCIO_3	780	2,0
Steel; iron-, and nickel-, and cobalt-base alloy	N_aNO_3 N_aCl or KCL	600 300	2,1 2,1
Copper & copper Alloy	N_aCl or KCL N_aNO_3	300 600	4,4 3,3
Tungsten	N_aOH	180	1,0
Titanium alloy	N_aCl or KCL	120	1,6
Molybdenum	N_aOH	180	1,0

2.2.9 *Tool Electrode*

Tool electrode yang digunakan pada pemesinan ECM harus bersifat tahan karat dalam waktu yang lama dan bersifat konduktor. Material yang diguanakan pun juga harus bersifat konduktor, tahan karat, dan mudah dalam pengerjaan pemesinan sesuai bentuk yang dibutuhkan. *Tool electrode* juga sangat dipengaruhi oleh akurasi dimensional dan *surface finish* pada benda kerja. Contohnya aluminium, kuningan, tembaga, *stainless steel*, perak, karbon dan monel adalah bahan material yang biasa dipakai sebagai *tool electrode* pada mesin ECM. Dalam penelitian ini bahan material yang digunakan adalah kuningan.

Kuningan terbuat dari logam paduan antara tembaga (*Cu*) dan seng (*Zn*). Perbandingan antara tembaga dan seng tergantung karakterisitik material

kuningan yang dibutuhkan, biasanya kadar tembaga sebanyak 60-90 % dari massa total kuningan.

Gambar 2.11. *Tool* elektroda Kuningan

2.2.10 *Workpiece*

Benda kerja pada mesin ECM harus bersifat konduktor, karena terjadinya beda potensial pada unsur benda kerja sangat memengaruhi efisiensi arus yang berlangsung pada proses pemesinan. Terjadinya reaksi pada unsur benda kerja adalah salah satu faktor yang memengaruhi hasil pemesinan. Benda kerja harus juga bersifat tahan terhadap perlakuan panas. Pada penelitian ini menggunakan bahan material aluminium 1100 sebagai benda kerjanya.

Aluminium adalah logam yang sangat reaktif dan mudah teroksidasi dengan oksigen dan membentuk suatu lapisan aluminium oksida (Al_2O_3) dan membuat sifat aluminium menjadi tahan korosif, tetapi apabila kadar Fe, Ni dan Cu ditambahkan akan membuat sifat tahan korosifnya menurun, dikarenakan kadar alumina pada aluminium menurun. Selain mempunyai sifat tahan korosi aluminium juga bersifat ulet, mudah dalam pengerjaan pemesinan. Komposisi dari aluminium 1100 terdiri dari 1% Silikon, 1% Besi, 0.13% Tembaga, 0.05% Mangan dan 0.1% Seng.

2.2.11 *Material Remove Rate* (MRR)

Material Remove Rate adalah banyaknya pemakanan pada jumlah massa benda kerja per satuan waktu. Secara teoritis, MRR juga dapat dihitung dengan prinsip hukum Faraday mengenai elektrolisis. Persamaan dijelaskan sebagai berikut :

$$m = \frac{l.t}{F} = \frac{M\ .\ l\ .\ t}{2\ .\ F} \quad \text{.....} \quad (2.4)$$

$$MRR = \frac{m}{t} = \frac{M\ .\ l}{2\ .\ F} \quad \text{.....} \quad (2.5)$$

Keterangan :

M : Massa (*g*)

I : Arus (*A*)

t : Waktu pemesinan (*s*)

F : Konstanta Faraday (*96500 As*)

Persamaan di atas adalah bentuk penyederhanaan dari beberapa asumsi dimana perhitungan tidak dipengaruhi oleh beberapa variabel proses, misal berubahnya valensi disolusi elektrokimia pada proses pemesinan, perubahan gas, pembentukan gelembung, konduktivitas listrik, variasi temperatur pada aliran elektrolit, dan lain-lain.

Secara aktual besar MRR dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Neto J, 2006) :

$$\text{MRR} = \frac{m_o - m_t}{\rho\ .\ t} \quad \text{.....} \quad (2.6)$$

Keterangan :

MRR : *Material Removal Rate* (mm^3/s)

m_o : Massa benda kerja sebelum proses pemesinan (*g*)

m_t : Massa benda kerja setelah proses pemesinan (*g*)

t : Waktu pemesinan (*s*)

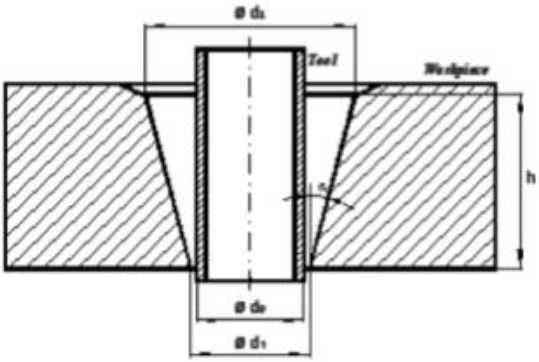
ρ : Massa jenis benda kerja (g/cm^3)

2.2.12 *Overcut* dan Ketirusan

overcut adalah penyimpangan ukuran lubang hasil *drilling* lebih besar daripada ukuran *tool* pada pemesinan. *overcut* tidak bisa dihilangkan sepenuhnya

dikarenakan berguna untuk sirkulasi dari cairan elektrolit dan juga berfungsi untuk pemisah antara *tool* dengan benda kerja. Apabila *overcut* yang terjadi terlalu besar maka akan berakibat menurunnya kualitas produk, karena menyimpang dari toleransi yang ditentukan.

Ketirusan adalah terbentuknya sudut yang menyimpang antara diameter lubang terbesar dengan diameter lubang terkecil. Skema tentang *overcut* dan ketirusan ditunjukkan pada gambar 2.12 berikut ini.



Gambar 2.12. *Overcut* dan ketirusan yang terjadi pada hasil *drilling* ECM (Suhardjono, 2014)

Rumus persamaan dari *overcut* dan ketirusan adalah sebagai berikut :

***Overcut* :**

$$Oc = d_2 - d_o \quad \text{.....(2.7)}$$

Ketirusan :

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{d_2 - d_1}{2\,.\,h}\right) \quad \text{..... (2.8)}$$

Keterangan :

d_2 : Diameter belakang benda kerja (*mm*)

d_o : Diameter *tool* elektroda (*mm*)

d_1 : Diameter depan benda kerja (*mm*)

h : Tebal benda kerja (*mm*)

α : Sudut dari benda kerja (^{o})

Rumus perhitungan luas area menjadi diameter adalah sebagai berikut :

$$d = \sqrt{\frac{D}{\pi/4}} \quad \text{..... (2.9)}$$

Keterangan :

D = Luas area (mm^2)

d = Diameter (mm)