

Studi Eksperimental Variasi Konsentrasi Elektrolit KCl pada Overcut dan Ketirusan Hasil Drilling Proses ECM

Suhardjono

Laboratorium Mesin Perkakas Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS
Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya.
Email: suhardjono@me.its.ac.id

Abstrak

Pada penelitian ini ditunjukkan untuk menguji performansi kualitatif “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. Konsentrasi larutan KCl sebagai elektrolit dipilih sebanyak 5 konsentrasi, yaitu 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 dan 0.30 kg/l air dimana pada masing-masing konsentrasi elektrolit dilakukan proses drilling ECM dengan tegangan 12, 24 dan 36 volt, sedangkan variabel yang dijaga konstan adalah gap jarak antara elektrode dan benda kerja sebesar 0.5 mm dan diameter luar elektrode tembaga $d_o=9.92$ mm. Selanjutnya setiap lubang yang dihasilkan diukur diameter minimum d_{min} dan maksimumnya d_{max} untuk menghitung $overcut=d_{max} - d_o$ dan sudut ketirusan $= \arctan((d_{max} - d_{min})/2h)$, dimana h kedalaman bagian lubang yang tirus.

Dari pengujian performansi kualitatif dengan memvariasikan konsentrasi larutan elektrolit KCl dari 0.1 hingga 0.3 kg/l didapatkan hasil bahwa overcut naik dari 7.53 mm hingga 8,64 mm untuk tegangan 12 Volt, sedangkan untuk tegangan 24 dan 36 Volt memberikan kenaikan yang hampir sama yaitu dari 6.6 mm hingga 8.81 mm. Jadi dengan elektrode berdiameter luar 9.92 mm, maka dihasilkan diameter lubang sebesar 18.73 mm atau hampir dua kali lipat dari diameter elektrodenya untuk konsentrasi 0.3 kg/l. Efek ketirusan juga akan semakin besar dengan meningkatnya konsentrasi larutan KCl tersebut. Ketirusan naik dari 38° hingga 50° dengan naiknya konsentrasi dari 0.1 kg/l hingga 0.3kg/l.

Kata kunci: *Electrochemical Machining (ECM), konsentrasi larutan KCl, tegangan, overcut, efek ketirusan.*

Pendahuluan

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi sebagai akibat dari tuntutan masyarakat yang terus meningkat, memberikan tantangan bagi para ahli pemesinan untuk berlomba dan berinovasi baru dengan menciptakan atau memperbaiki metoda pengerjaan maupun peralatan yang telah ada. Penemuan jenis material baru dan terciptanya material dengan kekuatan dan kekerasan yang lebih tinggi. Bentuk benda kerja yang semakin kompleks yang harus diproduksi. Kemajuan industri modern yang membutuhkan peralatan yang lebih canggih dan tuntutan terhadap ketelitian, kepresisian dan kualitas permukaan yang tinggi. Semua itu adalah alasan dikembangkannya proses pemesinan modern atau proses pemesinan non konvensional dimana pahat tidak harus lebih keras dari benda kerjanya. Salah satu proses tersebut adalah proses ECM.

Proses ECM (Electrochemical Machining) merupakan proses pemesinan non-konvensional dimana pahat tidak harus lebih keras daripada benda kerja yang dimesin. Bahkan pahat dalam hal ini elektrode tidak boleh bersentuhan dengan benda kerja yang dimesin. Sesuai dengan namanya proses pemesinan ini memanfaatkan reaksi kimia dan dipercepat dengan energi listrik. Pada umumnya ECM digunakan untuk membuat rongga cetakan dari material hardened toolsteel dengan kekerasan sangat tinggi ($>55HRC$) yang tidak lagi mampu dimesin secara konvensional. Mesin ECM skala industri harganya sangat mahal dan membutuhkan daya listrik yang besar pula hingga 100 kW dan bahkan ada yang lebih dari 1 MW. Untuk mempelajari prinsip kerja dan unjuk kerja proses ECM, maka lab. Mesin Perkakas ITS mengembangkan mesin ECM skala laboratorium dengan daya 1000 Watt atau 1/100 mesin ECM skala industri. Mesin ECM skala laboratorium tersebut diuji performansinya baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Performa kualitatif berhubungan dengan kualitas hasil pemesinannya seperti kekasaran permukaan, ketelitian ukuran, akurasi geometri. Sedangkan performa kuantitatif berhubungan dengan produktivitasnya seperti Metal Removal Rate (MRR), banyaknya lubang yang mampu dimesin tiap menit atau tiap jam.

Tinjauan Pustaka

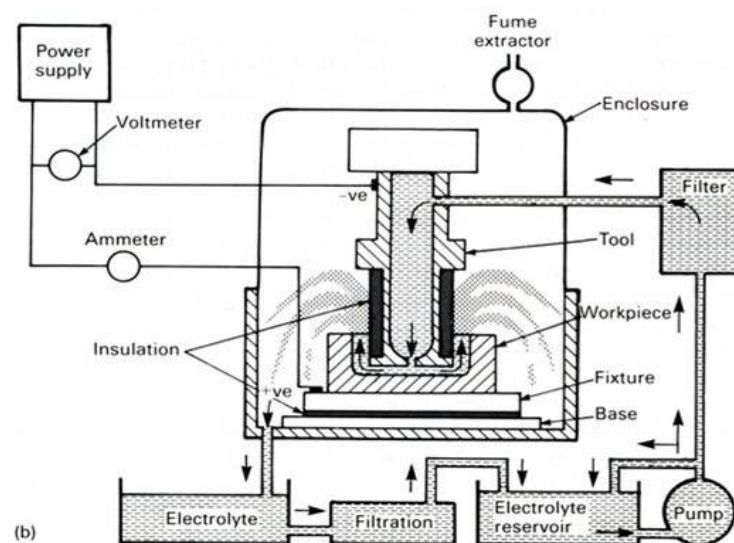
Electrochemical Machining (ECM) adalah salah satu proses permesinan non konvensional, yang prinsip kerjanya berdasarkan hukum Faraday. Proses permesinan terjadi akibat adanya reaksi oksidasi dan reduksi pada saat elektrolisis. Pada ECM reaksi reduksi dan oksidasi ditunjukkan dengan adanya pengerosian (lepasnya elektron) benda kerja dan penambahan massa (penempelan ion metal positif pada pahat). Untuk proses ECM penempelan ion metal tersebut dicegah dengan memberikan flusing (elektrolit yang disemprotkan) pada area kerja. Sehingga ion metal yang lepas dari benda kerja tidak sempat menempel pada pahat, Pandey et.al. (2000).

Pada percobaan Sun, J. J. et.al. (1998), elektrolit diuji dengan menggunakan DC (direct current) dan PC (pulse current) pada proses ECM (Direct ECM dan Pulse ECM). Pada eksperimen digunakan larutan 250 g/l NaNO_3 dan 150 g/l NaCl sebagai elektrolit dan besi sebagai benda kerja. Elektrolit dipompakan dari bak penampung dengan kecepatan aliran 9 l/min untuk PECM dan 11 l/min untuk DECM. Pada pengujian tersebut digunakan tegangan 5 volt dan dilakukan selama 40 menit dengan jarak tool dengan benda kerja 0,25 mm. Kecepatan pemakanan untuk NaCl 0,24 mm/min sedangkan kecepatan pemakanan pada NaNO_3 dilakukan secara manual. Dimensi benda kerja 50 x 25 x 75 mm. Dari hasil pengujian oleh Sun terlihat bahwa adanya perbedaan laju pembuangan material atau Material Removal Rate (MRR) akibat adanya perubahan elektrolit. Dengan menggunakan elektrolit campuran NaCl dengan air menghasilkan MRR yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan elektrolit NaNO_3 . Untuk menghasilkan MRR yang paling baik dapat dilakukan pencampuran beberapa jenis elektrolit.

Pada jurnal dari Electrochemical machining, J.Kozak (2004) dijelaskan pula pengaruh dari perubahan elektrolit antara NaCl dan NaNO_3 . Efisiensi arus dan sifat electrochemical machinability besarnya tergantung pada elektrolit dan arus. Hasil percobaannya menyatakan bahwa sifat mampu mesin (machinability) untuk NaCl ternyata konstan terhadap perubahan arus, sedangkan untuk elektrolit NaNO_3 sifat mampu mesinnya sangat dipengaruhi oleh kuat arus listriknya.

Prinsip Kerja ECM

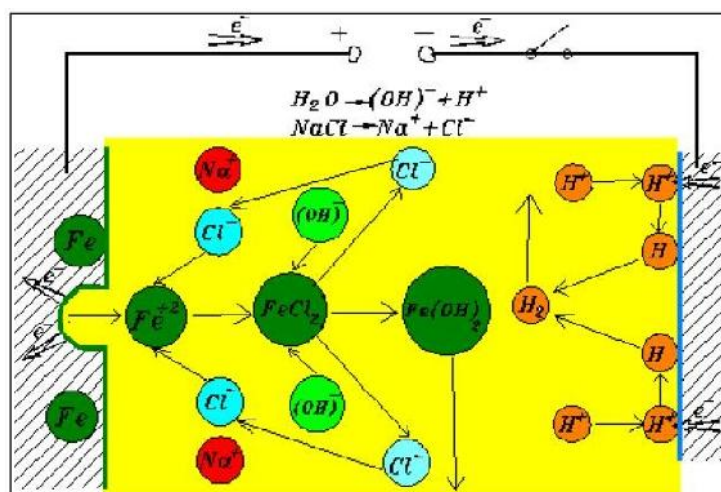
Prinsip ECM (Electrochemical Machining) yaitu proses pengerjaan material dengan cara pelarutan anodis (anodic dissolution) dari benda kerja yang bermuatan positif oleh lapisan cairan elektrolit yang mengalir melalui celah (gap) antara benda kerja dan pahat yang bermuatan negatif (katoda) seperti skema proses ECM gambar 1. Benda kerja yang bertindak sebagai anoda dihubungkan dengan sumber arus searah yang bermuatan positif (DC +) sedangkan pahat sebagai katoda dihubungkan dengan sumber arus searah yang bermuatan negatif (DC -) dan cairan elektrolit dialirkan diantara pahat dan benda kerja. Cairan elektrolit yang digunakan pada proses ECM diperlukan untuk terjadinya reaksi kimia pada permukaan benda kerja. Cairan elektrolit diberikan dengan cara disemprotkan atau di flusing diantara benda kerja dan elektrode (pada gap) sehingga cairan elektrolit akan berfungsi sebagai media untuk membawa panas hasil reaksi dari daerah pengerjaan dan juga berfungsi untuk membawa geram yang dihasilkan keluar dari gap sehingga menghindari penempelan partikel-partikel geram hasil proses pengerjaan pada elektrode.



Gambar 1. Skema prinsip kerja ECM setelah McGeough, J. (2005)

Reaksi Elektrokimia yang terjadi pada Anoda dan Katoda

Reaksi elektrokimia pada proses ECM ditunjukkan pada gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Diagram reaksi elektrochemical dari besi dengan elektrolit NaCl. Jika menggunakan elektrolit KCl, maka Na disubstitusi dengan K.. (<http://www.unl.edu/nmrc/ecm1/ecm1.htm>)

1. Reaksi yang berlangsung pada anoda (benda kerja) yang dihubungkan pada polartitas positif merupakan proses oksidasi (pelepasan elektron) dan pembentukan gas oksigen.
 - ❖ Proses oksidasi yang merupakan pelarutan dari ion metal yang dalam hal ini baja didalam cairan elektrolit (Proses *anode dissolution*).

$$Fe \rightarrow Fe^{++} + 2e^- \tag{1}$$
 - ❖ Proses pembentukan gas oksigen O_2 .

Larutan bersifat asam:

$$2H_2O \rightarrow 4H^+ + 4e^- + O_2 \uparrow \tag{2}$$

Larutan bersifat basa:

$$4(OH)^- \rightarrow 2H_2O + 4e^- + O_2 \uparrow \tag{3}$$
2. Reaksi yang berlangsung pada katoda (pahat) merupakan proses reduksi (penangkapan elektron) dan pembentukan gas hidrogen.
 - ❖ Proses reduksi yang terjadi pada ion-ion logam. Reaksi ion logam pada katoda dikelompokkan menjadi dua bagian :
 - Ion-ion logam alkali, alkali tanah dan Al^{+3} tidak dapat direduksi dari larutan. Yang direduksi adalah pelarut (air) dan terbentuklah gas hidrogen H_2 .

$$2H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^- + H_2 \uparrow \tag{4}$$
 - Ion-ion logam lainnya yang tidak termasuk dari kelompok diatas akan mengalami reduksi.

$$Fe^{++} + 2e^- \rightarrow Fe \tag{5}$$
 - ❖ Proses pembentukan gas hydrogen H_2 .

Larutan bersifat asam :

$$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2 \uparrow \tag{6}$$

Larutan bersifat basa:

$$2H_2O + 2e^- \rightarrow 2(OH)^- + H_2 \uparrow \tag{7}$$

Gas Chlor terjadi akibat rangkaian reaksi berikut ini



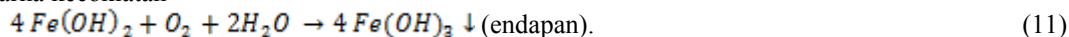
dan



Selanjutnya ion positif besi dan ion negatif hidroksil membentuk larutan yang disebut larutan anodis atau ferro hidroksida



Larutan anodis ini bercampur dengan oksigen dan air membentuk ferrihidroksida (hidroksida besi) yang berupa endapan berwarna kecoklatan



Selain itu juga terbentuk senyawa-senyawa berupa $FeCl_2$, $FeCl(OH)$ dan $FeCl_3$.

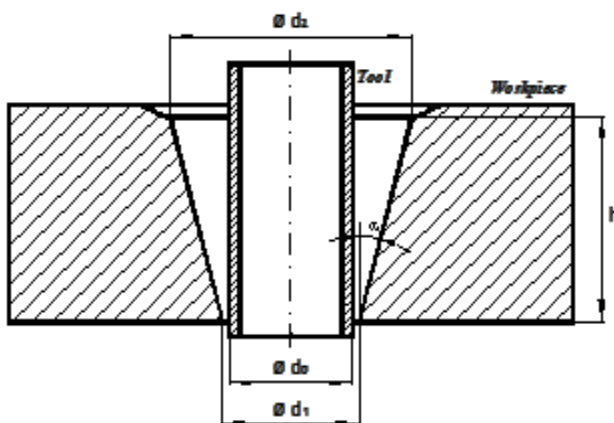
Untuk percobaan ini reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :

Fluida elektrolit yang digunakan adalah larutan KCl , dimana air adalah sebagai pelarutnya. Sebagai catatan bahwa H_2O lebih mudah menangkap elektron daripada ion K^+ sehingga reaksi yang terjadi pada katoda adalah reaksi reduksi terhadap H_2O menghasilkan gas hidrogen



Overcut dan Efek Tirus

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 3.



Gambar 3. Overcut dan efek tirus pada lubang hasil drilling ECM.

Jadi overcut Oc dirumuskan sebagai-berikut:

$$Oc = d_2 - d_0 \tag{13}$$

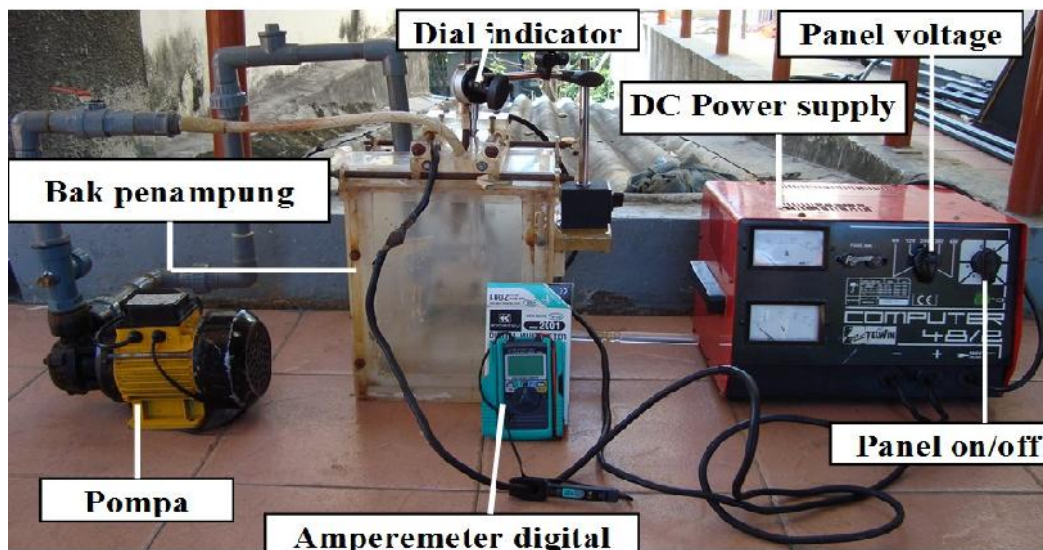
Sedangkan ketirusan α dihitung berdasarkan rumus:

$$\alpha = \text{atan} \left[\frac{\left(\frac{d_2 - d_1}{2} \right)}{h} \right] \tag{14}$$

Elektrode yang digunakan berbentuk pipa dari tembaga dengan diameter luar $d_o=9,92$ mm dan diameter dalam $d_i=8,88$ mm. Permukaan luar elektrode diisolasi dengan cara dicat.

Rangkaian Peralatan Percobaan

Peralatan untuk proses percobaan drilling ECM disusun seperti ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian mesin ECM skala lab. yang dikembangkan di Lab. Mesin Perkakas ITS.

Prinsip kerja mesin ECM skala laboratorium ini dapat dijelaskan sebagai-berikut:

Benda kerja dicekam dengan bench vise (catok) dan elektrode didekatkan ke Benda kerja hingga mempunyai gap sebesar 0.5 mm. Selanjutnya benda kerja dan elektrode dimasukkan ke bak penampung yang diisi fluida elektrolit hingga mencapai ketinggian kira-kira 40 mm dari permukaan benda kerja. Benda kerja dihubungkan ke kutub positif dari DC power supply, sedangkan elektrode dihubungkan dengan kutub negatif. Putar panel voltage ke tegangan yang diinginkan dan ukur arusnya menggunakan amperemeter digital. Agar geram (*chip*) hasil erosi dari reaksi elektrokimia tidak menumpuk di antara celah benda kerja dan elektrode, maka geram tersebut harus disingkirkan dengan proses *flushing*, yaitu menyemprotkan fluida elektrolit segar dengan pompa ke arah gap antara elektrode dan benda kerja. Karena benda kerja tererosi, maka semakin lama celah gap antara elektrode dan pahat juga semakin membesar yang berakibat arus menurun sehingga elektrode perlu didekatkan lagi agar jarak gap bisa dijaga konstan 0.5 mm dengan mengeset besar arus pada harga awal proses pemesinan ini dimulai. Kedalaman lubang dapat diketahui dari dial indicator yang dihubungkan pada elektrode tersebut.

Hasil Proses Drilling ECM

Salah satu benda kerja hasil proses drilling ECM ditunjukkan pada gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. Contoh hasil drilling ECM hardened toolsteel SKD 11 dimensi 100x40x4,5mm kekerasan >52HRC.

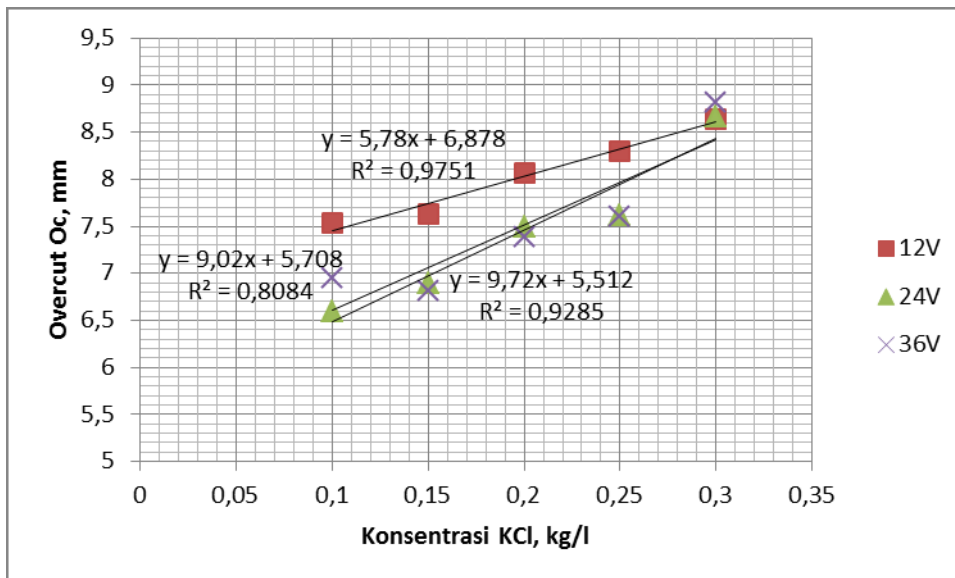
(Besi: Berat atom 55,845; valensi 2 dan 3; berat jenis 7,87 g/cm³)

(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} =10.38mm, d_{\max} =18.59mm, 24 V, 15.5A.
- (3) Konsentrasi KCl 0.3 kg/l, d_{\min} =10.37mm, d_{\max} =18.73mm, 36 V, 26.9A

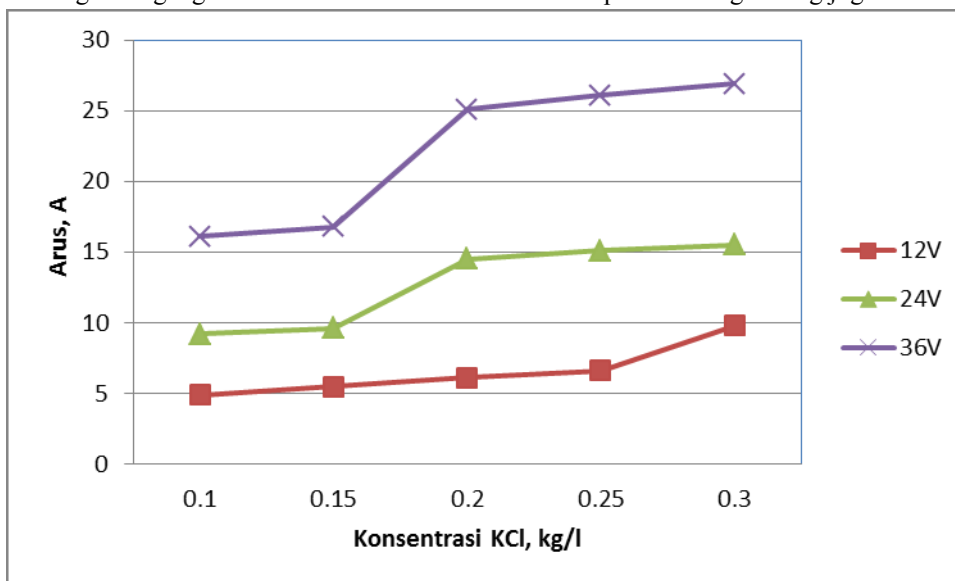
Hasil Olah Data Percobaan dan Diskusi

Setelah proses drilling dilakukan, maka lubang yang dihasilkan diukur diameter terbesar dan yang terkecil yang selanjutnya digunakan untuk menghitung overcut dan ketirusannya. Data yang diperoleh selanjutnya diolah dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar 6, gambar 7 dan gambar 8.

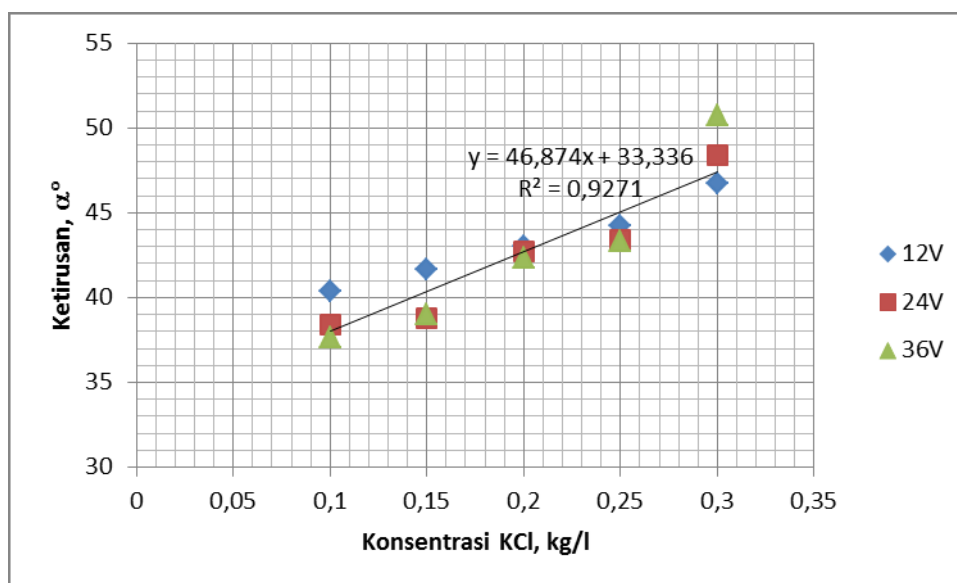


Gambar 6. Grafik fungsi konsentrasi KCl versus Overcut untuk tegangan 12V, 24V dan 36V. (Persamaan garis y sebagai overcut dan x konsentrasi KCl)

Dari gambar 6 terlihat bahwa semakin besar konsentrasi KCl semakin besar juga overcutnya. Hal ini disebabkan oleh semakin besarnya konduktivitas listrik dengan semakin besar konsentrasinya. Dengan kenaikan konduktivitas, maka semakin besar arus listrik yang mengalir seperti yang ditunjukkan pada gambar 7. Overcut untuk tegangan 12V lebih besar dibandingkan dengan tegangan 24 dan 36V, sebab pada tegangan 12V dibutuhkan waktu hingga 3 lebih lama dibandingkan tegangan 24 dan 36V. Oleh karena itu erosi pada dinding lubang juga semakin besar.



Gambar 7. Hasil pengukuran arus listrik dengan jarak gap dijaga konstan 0,5 mm.



Gambar 8. Grafik fungsi Konsentrasi KCl versus Ketirusan untuk tegangan 12, 24 dan 36V.
(Persamaan garis y sebagai ketirusan dan x konsentrasi KCl)

Grafik ketirusan sebagai fungsi konsentrasi KCl diperlihatkan pada gambar 8. Pada grafik tersebut terlihat terjadi kenaikan ketirusan yang linear terhadap kenaikan konsentrasi KCl. Hal ini disebabkan oleh kenaikan arus listrik yang mengalir dengan semakin besarnya konsentrasi seperti grafik gambar 7. Pada gambar 8 juga terlihat bahwa ketirusan hampir tidak dipengaruhi oleh tegangan.

Kesimpulan

Dari hasil olah data dan analisisnya, maka hasil penelitian ini dapat disimpulkan sebagai-berikut:

1. Overcut lubang hasil drilling ECM semakin besar dengan semakin besar konsentrasi KCl.
2. Untuk jarak gap (celah) antara elektrode dan benda kerja yang konstan, maka kenaikan konsentrasi KCl menyebabkan kenaikan arus listrik yang melalui celah tersebut.
3. Ketirusan lubang hasil drilling ECM naik secara linear dengan naiknya konsentrasi KCl.
4. Tegangan hanya sedikit berpengaruh pada ketirusan lubang hasil drilling ECM.

Daftar Pustaka

Allen J Bard, Larry R Faulkner, (2000), "*Electrochemical Methods Fundamental and Application*", Texas

Jenny J. Sun, et. al., (1998), "*Investigation Of Electrochemical Parameters Into An Electrochemical Machining Process*", Faraday Technology, Inc.315 Huls DriveClayton, Ohio 45315-8983

Kozak, J. 2004, "*Electrochemical Machining*", Moscow <<http://www.unl.edu/nmrc/ecm7/7.html>>

McGeough, J., (2005), "*Electrochemical Machining (ECM)*", Institute for Integrated Micro and Nano Systems, University of Edinburgh, United Kingdom, <URL:<http://electrochem.cwru.edu/ed/encycl/>>

Pandey, P.C. and Shan, H.S., (2000), "*Modern Machining Processes*", Mc Graw-Hill, New Delhi