

**ANALISIS PERHITUNGAN MRR, *OVERCUT* DAN KETIRUSAN PADA
STAINLESS STEEL 304 DENGAN PENGARUH VARIASI *GAP* DAN
TEGANGAN PADA PROSES *ELECTRO CHEMICAL MACHINING* (ECM)
MENGUNAKAN ELEKTRODA TIDAK TERISOLASI**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Strata-1 pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta**



Disusun Oleh :

Sumardi

2012 013 0131

**PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA
YOGYAKARTA**

2016

PERNYATAAN KEASLIAN DAN PERSETUJUAN PUBLIKASI



Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sumardi
NIM : 2012 013 0131
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi
Judul Karya : Analisis Perhitungan MRR, *Overcut* Dan Ketirusan Pada *Stainless Steel* 304 Dengan Pengaruh Variasi *Gap* Dan Tegangan Pada Proses *Electro Chemical Machining* (ECM) Menggunakan Elektroda Tidak Terisolasi

Menyatakan dengan benar dan tanpa paksaan bahwa:

1. Karya ini adalah asli hasil karya saya sendiri dengan arahan dan bimbingan dosen pembimbing dan merupakan sebagian hasil dari penelitian di Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dengan:
Judul : Pembuatan CNC *Electro Chemical Machining* serta Pengujian Pemesinan pada Pembuatan *Microchannel*
Sumber dana : Direktorat Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat Ditjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi
Tahun : 2016
Ketua Peneliti : Ir. Aris Widyo Nugroho, M.T., Ph.D
2. Karya ini tidak memuat hasil karya orang lain kecuali acuan atau kutipan yang telah disebutkan sumbernya.
3. Karya ini belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik (sarjana, magister dan/ doktor) di Universitas Muhammadiyah Yogyakarta atau institusi lainnya.
4. Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui memberikan hak kepada dosen pembimbing dan Universitas Muhammadiyah Yogyakarta untuk menyimpan, menggunakan dan mengelola karya ini dan perangkat lainnya (jika ada) serta mempublikasikannya dalam bentuk lain baik itu semua maupun sebagian dengan tetap mencantumkan nama saya.

Yogyakarta, 02 November 2016
Yang menyatakan,

(Sumardi)

MOTTO

“Belajarlah untuk kehidupan yang lebih baik lagi”

(Sumardi)

“Pendidikan merupakan perlengkapan paling baik untuk hari tua”

(Aristoteles)

“Banyak kegagalan dalam hidup ini dikarenakan orang-orang tidak menyadari betapa dekatnya mereka dengan keberhasilan saat mereka menyerah”

(Thomas Alva Edison)

“Sesungguhnya Allah tidak mengubah keadaan sesuatu kaum sehingga mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri”

(Terjemahan Surat Ar-Ra'd ayat 11)

Nak jangan lupa belajar, sholat, dan selalu bersyukur, supaya apa yang kamu kerjakan dapat memberikan hasil yang baik

(ayah & ibu)

PERSEMBAHAN



Dengan penuh rasa syukur, tugas akhir ini saya persembahkan untuk :

1. **Bapak dan Ibuku tercinta, H. Muhammad Saleh dan Hj. Mariani K.,** Terimakasih atas didikan, kasih sayang, kesabaran, kepercayaan dan dukunganmu selama ini, sehingga aku mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini. Dimasa depan kelak aku akan membuatmu bangga dengan karya-karyaku.
2. **Sutiani Saleh, S.E., Mansur Saleh, Firman Saleh dan Ibrahim Saleh** kakak dan adik-adikku yang telah memberikan motivasi untuk sukses semuda mungkin, saya harap kalian lebih sukses daripada saya saat ini, semoga kalian bisa meraih apa yang kalian cita-citakan.
3. **Ir. Aris Widyo Nugroho, M.T., Ph.D. dan Sunardi, S.T., M.Eng.** Selaku dosen pembimbing, terimakasih atas bimbingan bapak sehingga saya bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini sampai selesai.
4. **Muhammad Budi Nur Rahman, S.T., M.Eng.** Selaku dosen penguji Tugas Akhir.
5. **Teman-teman Teknik Mesin UMY angkatan 2012 dan semua angkatan yang selalu memberi dukungan satu sama lain “M Forever”.**

KATA PENGANTAR



Puji serta syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul : **Analisis Perhitungan MRR, Overcut Dan Ketirusan Pada Stainless Steel 304 Dengan Pengaruh Variasi Gap Dan Tegangan Pada Proses Electro Chemical Machining (ECM) Menggunakan Elektroda Tidak Terisolasi**. Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan akademis menyelesaikan Program Strata-1 pada Jurusan Teknik, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Dengan selesainya tugas akhir ini penulis ucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Ir. Aris Widy Nugroho, S.T., M.T., Ph.D. Selaku dosen pembimbing 1 yang telah bersedia meluangkan waktu untuk membimbing penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir.
2. Bapak Sunardi, S.T., M.Eng. Selaku dosen pembimbing 2 yang telah bersedia meluangkan waktu untuk membimbing penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir.
3. Bapak Muhammad Budi Nur Rahman, S.T., M.Eng. Selaku dosen penguji Tugas Akhir ini.
4. Bapak Novi Caroko, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
5. Seluruh Staff Dosen Jurusan Teknik Mesin UMY.
6. Ayahanda H. Muhammad Saleh, ibunda Hj. Mariani K., serta seluruh keluarga atas dukungan morilnya selama ini.
7. Sahabat – sahabatku, Agung Fajar Pamungkas, Bayu Novrizal, Adib Annahl, Nursidik, Arwang Wawang K., Fatih, Wawan Hartanto, Ahmad Yulizal Untung dan Achmad Faz fero. Dan tak lupa rekan seperjuangan team tugas akhir Eko Sulisty, Toriqudin Firdaus, Purna Septiaji, Fahmi Rhokin dan Ilham dwi Cahyo .Kalian sahabat-sahabatku yang selalu ada

ketika aku lagi ngedrop, nge-hibur, ketawa bareng, curhat-curhatan, ejek-ejekan, bajak sosmed, hari-hariku gak bakal seru kalo gak ada kalian semua. Terimakasih atas dukungan kalian.

8. Rekan – rekan seperjuangan Teknik Mesin 2012, “M” Solidarity Forever.
9. Seluruh mahasiswa Teknik Mesin UMY, “M” Solidarity Forever.
10. Seluruh pihak yang telah membantu, yang tak dapat penulis sebutkan namanya satu per satu, terimakasih atas dukungan yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Karena keterbatasan ilmu pengetahuan dan pengalaman. Penyusun menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam Tugas Akhir ini. Karena itu, penyusun mengharapkan adanya saran dan kritik yang sifatnya membangun dari pembaca. Penyusun berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan khususnya penulis sendiri.

Yogyakarta, 02 November 2016
Penyusun,

(Sumardi)

NIM. 2012 013 0131

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
MOTTO	iv
PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR NOTASI	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	3
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	4
2.1. Kajian Pustaka	4
2.2. Dasar Teori.....	11
2.2.1. <i>Electro Chemical Machining</i> (ECM)	11
2.2.2. Prinsip kerja pada <i>Electro Chemical Machining</i> (ECM)	13
2.2.3. Reaksi kimia pada proses <i>Electro Chemical Machining</i> (ECM)	14
2.2.4. Proses Ideal Pada ECM	15
2.2.5. Jenis <i>Electro Chemical Machining</i> (ECM)	16
2.2.6. Peralatan <i>Electro Chemical Machining</i>	20
2.2.7. Akurasi ECM.....	25
2.2.8. <i>Material Removal Rate</i> (MRR)	26
2.2.9. <i>Overcut</i> dan Ketirusan.....	27

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	30
3.1. Pendekatan Penelitian	30
3.2. Tempat dan Waktu Penelitian	30
3.2.1. Tempat penelitian	30
3.2.2. Waktu Penelitian	30
3.3. Alat dan Bahan Penelitian.....	30
3.3.1. Alat-alat yang digunakan	30
3.3.2. Bahan Penelitian.....	32
3.4. Variabel Penelitian	34
3.4.1. Variabel Bebas	34
3.4.2. Variabel Terikat.....	34
3.5. Langkah-Langkah Penelitian.....	34
3.6. <i>Flowchart</i> / Diagram Alir Penelitian.....	35
3.7. Prosedur Pengujian dengan Mesin ECM	37
3.8. Prosedur Pembuatan Benda Kerja.....	39
3.9. Parameter Pengujian ECM	39
3.10. Pengujian Terhadap Material Benda Kerja	40
3.10.1. Pengujian MRR.....	40
3.10.2. Pengujian <i>Overcut</i> dan Ketirusan	40
3.11. Pengukuran Hasil Pengujian	41
3.11.1. Pengukuran <i>Material Removal Rate</i> (MRR).....	41
3.11.2. Pengukuran <i>Overcut</i> dan ketirusan	42
3.12. Pengumpulan Data	46
3.13. Analisis Data.....	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	48
4.1. Mesin ECM <i>Portable</i>	48
4.2. Hasil Pemesinan ECM	49
4.3. Hasil Perhitungan Data dan Pembahasan	51
4.3.1. Hasil Perhitungan <i>Material Removal Rate</i> (MRR)	51
4.3.2. Hasil Perhitungan <i>Overcut</i>	54
4.3.3. Hasil Perhitungan Ketirusan.....	58

4.3.4. Pembahasan.....	61
BAB V PENUTUP.....	63
5.1. Kesimpulan.....	63
5.2. Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA.....	65
LAMPIRAN	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mesin ECM skala laboratorium (Feriyanta, 2015).....	4
Gambar 2.2 Grafik nilai MRR tiap percobaan (Feriyanta, 2015).....	5
Gambar 2.3 Grafik nilai rata-rata MRR (Feriyanta, 2015).....	5
Gambar 2.4 Grafik hasil penelitian pengaruh <i>voltage</i> terhadap <i>overcut</i> (Wahyudi, 2010).....	6
Gambar 2.5 Grafik hasil penelitian pengaruh <i>voltage</i> terhadap <i>tapering</i> (Wahyudi, 2010).....	7
Gambar 2.6 Grafik hasil penelitian pengaruh <i>voltage</i> terhadap MRR (Wahyudi, 2010).....	7
Gambar 2.7 Elektroda kuningan (Sudiarso dkk, 2013)	8
Gambar 2.8 Hasil lubang pemesinan menggunakan ECM dengan benda kerja (a) kuningan (b) <i>stainless steel</i> (c) aluminium (Sudiarso dkk, 2013).....	8
Gambar 2.9 Sudut <i>overcut</i> material <i>stainless steel</i> (a) diameter 2 mm dan (b) diameter 6 mm menggunakan elektroda kuningan (Sudiarso dkk, 2013).....	9
Gambar 2.10 Sudut <i>overcut</i> material aluminium (a) diameter 2 mm dan (b) diameter 6 mm menggunakan elektroda kuningan (Sudiarso dkk, 2013).....	9
Gambar 2.11 Prinsip ECM (McGeough, 1988).....	14
Gambar 2.12 Reaksi proses pemesinan ECM pada besi (McGeough, 1988).....	14
Gambar 2.13 Skema representatif reaksi pada ECM (Tlusty, 2000).....	15
Gambar 2.14 <i>Electrolyte Jet</i> (El-Hofy, 2005)	16
Gambar 2.15 Indentasi (cekungan) pada permesinan mikro (Masuzawa dan Tonshof, 1997)	17
Gambar 2.16 Konfigurasi ECDR (El-Hofy, 2005).....	17
Gambar 2.17 Skema STEM (El-Hofy, 2005).....	18
Gambar 2.18 Skema <i>Electrostream (Capillary) Drilling</i> (El-Hofy, 2005)	19
Gambar 2.19 <i>Electro Chemical Jet Drilling</i> (El-Hofy, 2005).....	19
Gambar 2.20 Mekanisme ECDB (El-Hofy, 2005)	20
Gambar 2.21 Komponen sistem pada ECM	20
Gambar 2.22 Sistem mekanik (<i>frame</i>) (Toriquddin, 2016).....	23

Gambar 2.23 Sistem sirkulasi elektrolit (Toriquddin, 2016).....	24
Gambar 2.24 Kontroler 3 axis	25
Gambar 2.25 Parameter yang mempengaruhi akurasi pada ECM (El-Hofy, 2005).....	26
Gambar 2.26 <i>Overcut</i> dan efek tirus pada lubang hasil <i>drilling</i> ECM (Suhardjono, 2014)	28
Gambar 3.1 Mesin ECM <i>portable</i>	31
Gambar 3.2 Alat bantu pemesinan ECM.....	31
Gambar 3.3 Elektroda Kuningan tidak terisolasi.....	32
Gambar 3.4 (a) NaCl, (b) Aquades.....	32
Gambar 3.5 Pencampuran NaCl dan Aquades menggunakan <i>magnetic stirrer</i> ..	33
Gambar 3.7 Diagram alir penelitian	36
Gambar 3.8 Layar <i>Load G-code</i>	37
Gambar 3.9 Contoh program <i>G-code</i>	38
Gambar 3.10 Tampilan <i>G-code</i>	38
Gambar 3.11 (a) Benda kerja, (b) Dimensi isolator, (c) Benda kerja setelah diisolasi.....	39
Gambar 3.12 Pengukuran massa menggunakan timbangan digital	41
Gambar 3.13 Pengujian Makro.....	42
Gambar 3.14 Tahap <i>Open file</i>	42
Gambar 3.15 ImageJ : pengaturan skala ukuran.....	43
Gambar 3.16 ImageJ : Proses <i>Oval</i> atau membuat lingkaran.....	43
Gambar 3.17 ImageJ : Proses <i>Paintbrush tool</i> dan <i>Wand (tracing) tool</i>	44
Gambar 3.18 ImageJ : Proses <i>Analyze measure</i>	44
Gambar 3.19 <i>Save file</i> menggunakan aplikasi <i>paint</i>	45
Gambar 3.20 ImageJ : hasil akhir pengukuran <i>overcut</i>	45
Gambar 4.1 Mesin ECM <i>portable</i>	48
Gambar 4.2 <i>Sett up</i> ECM <i>portable</i> yang digunakan dalam penelitian	48
Gambar 4.3 Benda kerja hasil pemesinan yang telah difoto makro, (a) bagian depan dan (b) bagian belakang	49
Gambar 4.4 Grafik besar arus setelah pemesinan pada <i>gap</i> (a) 0,5 mm, (b) 0,75 mm, (c) 1,0 mm dan (d) rata-rata arus tiap tegangan	51

Gambar 4.5 Grafik pengaruh tegangan dan <i>gap</i> terhadap nilai MRR	53
Gambar 4.6 Hasil <i>overcut</i> dengan variasi <i>gap</i> 0,5 mm dan waktu pemesinan 248 detik, (a) bagian depan, (b) bagian belakang.....	54
Gambar 4.7 Hasil <i>overcut</i> dengan variasi <i>gap</i> 0,75 mm dan waktu pemesinan 248 detik, (a) bagian depan, (b) bagian belakang.....	55
Gambar 4.8 Hasil <i>overcut</i> dengan variasi <i>gap</i> 1,0 mm dan waktu pemesinan 248 detik, (a) bagian depan, (b) bagian belakang.....	55
Gambar 4.9 Pengaruh variasi tegangan dan <i>gap</i> terhadap <i>overcut</i>	57
Gambar 4.10 Hasil ketirusan pada tegangan 10 volt dan waktu pemesinan 248 detik dengan variasi (a) <i>gap</i> 0,5 mm, (b) <i>gap</i> 0,75 mm, dan (c) <i>gap</i> 1,0 mm.....	58
Gambar 4.11 Hasil ketirusan pada tegangan 13 volt dan waktu pemesinan 248 detik dengan variasi (a) <i>gap</i> 0,5 mm, (b) <i>gap</i> 0,75 mm, dan (c) <i>gap</i> 1,0 mm.....	58
Gambar 4.12 Arah ketirusan benda kerja	58
Gambar 4.13 Pengaruh variasi tegangan dan <i>gap</i> terhadap nilai ketirusan.....	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan <i>overcut</i> rata-rata dan sudut <i>overcut</i> rata-rata.....	9
Tabel 2.2 Perbandingan <i>overcut</i> rata-rata dan presentase	9
Tabel 2.3 Elektrolit dan laju permesinan berbagai benda kerja	21
Tabel 3.1 Titik Cair Standar Kuningan	32
Tabel 3.2 Komposisi kandungan unsur logam <i>stainless steel</i> 304	34
Tabel 3.3 Parameter pengujian ECM <i>portable</i>	40
Tabel 3.4 Lembar pengamatan uji MRR	47
Tabel 3.5 Lembar Pengamatan Uji <i>Overcut</i>	47
Tabel 4.1 Hasil proses pemesinan ECM material <i>stainless steel</i> 304 dengan <i>flow rate</i> 3 lpm.....	50
Tabel 4.2 Perhitungan MRR pada material <i>stainless steel</i> 304.....	53
Tabel 4.3 Hasil perhitungan <i>overcut</i> pada material <i>stainless steel</i> 304.....	57
Tabel 4.4 Hasil perhitungan ketirusan pada material <i>stainless steel</i> 304	60

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel keseluruhan hasil pemesinan ECM	68
Lampiran 2 Benda kerja hasil pemesinan yang berhasil tampak depan	71
Lampiran 3 Benda kerja hasil pemesinan yang berhasil tampak belakang	72
Lampiran 4 Benda kerja hasil pemesinan yang gagal tampak depan	73
Lampiran 5 Benda kerja hasil pemesinan yang gagal tampak belakang	74
Lampiran 6 Benda kerja yang diresin, (a) tegangan 10 volt dan (b) tegangan 13 volt	75
Lampiran 7 Contoh pengukuran penyimpangan diameter benda kerja	75
Lampiran 8 Ukuran diameter terbesar benda kerja bagian depan	76
Lampiran 9 Ukuran diameter terbesar benda kerja bagian belakang	76
Lampiran 10 Foto makro ketirusan benda kerja dengan <i>gap</i> 0,5 mm, tegangan 10 volt dan waktu pemesinan 248 detik	77
Lampiran 11 Foto makro ketirusan benda kerja dengan <i>gap</i> 0,75 mm, tegangan 10 volt dan waktu pemesinan 248 detik	77
Lampiran 12 Foto makro ketirusan benda kerja dengan <i>gap</i> 1,0 mm, tegangan 10 volt dan waktu pemesinan 248 detik	78
Lampiran 13 Foto makro ketirusan benda kerja dengan <i>gap</i> 0,5 mm, tegangan 13 volt dan waktu pemesinan 248 detik	78
Lampiran 14 Foto makro ketirusan benda kerja dengan <i>gap</i> 0,75 mm, tegangan 13 volt dan waktu pemesinan 248 detik	79
Lampiran 15 Foto makro ketirusan benda kerja dengan <i>gap</i> 1,0 mm, tegangan 13 volt dan waktu pemesinan 248 detik	79

DAFTAR NOTASI

d_0	: Diameter <i>tool</i> , milimeter (mm)
d_1	: Diameter hasil <i>drilling</i> ECM bagian belakang <i>workpiece</i> , milimeter (mm)
d_2	: Diameter hasil <i>drilling</i> ECM bagian depan <i>workpiece</i> , milimeter (mm)
E	: Berat kimia ekuivalen
F	: Konstanta Faraday (96500 As)
h	: Ketebalan <i>workpiece</i> , milimeter (mm)
I	: Arus listrik, ampere (A)
M	: Berat atom (g)
MRR	: <i>Material Removal Rate</i> (g/dt)
m	: Massa benda (g)
m_o	: Massa benda kerja sebelum permesinan (g)
m_t	: Massa benda kerja setelah permesinan (g)
O_c	: <i>Overcut</i> , milimeter (mm)
R_a	: <i>Surface roughness</i> (μm)
t	: Waktu permesinan (detik)
Z	: Valensi benda kerja
Δm	: Selisih massa benda kerja sebelum dan sesudah permesinan (g)
α	: Ketirusan, derajat ($^\circ$)