

**PEMBUATAN MESIN *ELECTRO CHEMICAL MACHINING* (ECM)  
*SINGLE AXIS* DAN PENGUJIAN AWAL PEMESINAN PADA *STAINLESS  
STEEL 304* DAN *STAINLESS STEEL 316***

**TUGAS AKHIR**

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



**Disusun Oleh :**

**Bagas Yoso Kuncoro**

**2013 013 0003**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA**

**2017**

**LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

**PEMBUATAN MESIN *ELECTRO CHEMICAL MACHINING* (ECM)  
*SINGLE AXIS* DAN PENGUJIAN AWAL PEMESINAN PADA *STAINLESS  
STEEL 304* DAN *STAINLESS STEEL 316***

**Disusun Oleh:  
BAGAS YOSO KUNCORO  
20130130003**

**Telah Dipertahankan Di Depan Tim Penguji  
Pada Tanggal :**

**Susunan Tim Penguji:**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Ir. Aris Widyo Nugroho M.T., PhD.  
NIK. 19700307199509 123 022**

**Sunardi S.T. M.Eng.  
NIP. 19770210201410 123 068**

**Penguji,**

**M.Budi Nurrahman S.T. M.Eng  
NIP.19790523 200501 1 001**

**Tugas Akhir Ini Telah Dinyatakan Sah Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**Tanggal :  
Mengesahkan  
Ketua Program Studi Teknik Mesin**

**Novi Caroko S.T., M.Eng  
NIP.19791113 200501 1 001**

## PERNYATAAN



Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

**Nama : BAGAS YOSO KUNCORO**

**NIM : 20130130003**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir yang berjudul: **“PEMBUATAN MESIN *ELECTRO CHEMICAL MACHINING (ECM) SINGLE AXIS* DAN PENGUJIAN AWAL PEMESINAN PADA *STAINLESS STEEL 304* DAN *STAINLESS STEEL 316*”** adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik bila ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Yogyakarta,

Yang menyatakan,

(BAGAS YOSO KUNCORO)

NIM. 20130130003

## MOTTO

“jadilah diri sendiri, karna itu lebih baik”

(Bagas yoso kuncoro)

“Dan katakanlah kepada keduanya perkataan yang mulia dan rendahkanlah dirimu terhadap keduanya dengan penuh kasih sayang. Dan katakanlah, “Wahai Rabb-ku sayangilah keduanya sebagaimana keduanya menyayangiku di waktu kecil”

(Terjemahan Surat AL-isra : 24)

“Jadi lah anak yang baik, terus berdoa dan beribadah kepada ALLAH Subhanahu wa Ta’ ala.

( Ibuk dan Bapak )

## PERSEMBAHAN



Dia memberikan hikmah (ilmu yang berguna) kepada siapa yang dikehendakiNya. Barang siapa yang mendapat hikmah itu sesungguhnya ia telah mendapat kebajikan yang banyak. Dan tiadalah yang menerima peringatan melainkan orang-orang yang bertawakal. (Q.S. Al-Baqarah: 269)

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

- Allah SWT dan Nabi Muhammad SAW
- Ibunda dan Ayahanda tercinta, Ibu Sumiati dan Bpk. Suratman terimakasih atas kasih sayang dan dukungan yang kalian berikan.
- Adik-adik tersayang Wimba damar sasi dan Danang tri nugroho tersayang, telah memberikan motivasi, nasehat serta dukungan.
- Bapak Ir. Aris Widy Nugroho, M.T., PhD. dan Sunardi, S.T, M.Eng. Selaku dosen pembimbing tugas akhir.
- Bapak Sunardi S.T., M.Eng. Selaku dosen pembimbing 2 yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberi bimbingan dan petunjuk sampai tugas akhir ini selesai.
- Bapak Muhammad Budi Nur Rahman, S.T, M.Eng. selaku dosen penguji
- Adang Mubarak Sidik teman seperjuangan tugas akhir
- Sahabatku Agus Mashuri Hidayat, Alif Hermawan, Hanif Nur Irawan, dan yang lain.
- Teman-teman Teknik Mesin UMY semua angkatan, terutama TM 2013 yang selalu memberi dukungan satu sama lain.

## INTISARI

Mesin *Electrochemical machining* merupakan salah satu mesin non konvensional. Mesin ECM mampu membuat komponen yang rumit dan material yang keras sekalipun, dimana proses pemesinan menggunakan larutan elektrolit dan tool tidak perlu bersentuhan dengan benda kerja.

Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan mesin ECM *single axis* dan pengujian awal mesin ECM *single axis*. Untuk mengetahui unjuk kerja dari mesin ECM *single axis* dapat dilihat pada saat proses pemesinan pada plat *stainless steel 304* dengan tebal 0.4 mm dan *stainless steel 316* dengan tebal 0.6 mm memvariasikan tegangan 5,7 dan 12 volt. Saat pemesinan dengan metode ECM. Dimana dalam proses pemesinan menggunakan larutan elektrolit NaCl dengan konsentrasi 15%.

Dari proses pemesinan didapatkan hasil pada benda kerja *stainless steel 304* MRR yang terbesar terjadi pada tegangan 12 volt dengan nilai MRR rata-rata  $6.652 \times 10^{-4}$  gram/detik, untuk *stainless steel 316* MRR yang terbesar pada tegangan 12 volt dengan nilai MRR rata-rata  $5.621 \times 10^{-4}$  gram/detik perbedaan nilai MRR ini disebabkan ketahanan material terhadap korosif. Hasil *overcut* yang terbesar terjadi pada benda kerja *stainless steel 304* dengan *overcut* 13.38 % dengan laju pemakan  $3.75 \times 10^{-2}$  mm<sup>3</sup>/detik dengan tegangan 7 volt dan untuk *stainless steel 316* *overcut* yang terbesar terjadi pada tegangan 5 Volt dengan nilai *overcut* 16.86% dengan laju pemakan  $0.489 \times 10^{-2}$  mm<sup>3</sup>/detik. Besar *overcut* ini disebabkan oleh lama pemesinan yang terjadi.

Kata Kunci: *Electrochemical Machining, Material Removal Rate, Overcut, Stainless Steel 304, Stainless Steel 316.*

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur kepada Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir dengan judul “**PEMBUATAN MESIN *ELECTRO CHEMICAL MACHINING (ECM) SINGLE AXIS* DAN PENGUJIAN AWAL PEMESINAN PADA *STAINLESS STEEL 304* DAN *STAINLESS STEEL 316* “.** Pada tugas akhir ini akan menjelaskan proses pembuatan mesin ECM *single axis*. Adapun Proses untuk membuat mesin ECM *single axis* harus melalui proses yaitu analisa kebutuhan mesin ECM, perancangan, pembuatan sistem mekanik mesin ECM *single axis*, perakitan sirkulasi elektrolit, perakitan sistem kontroler dari mesin ECM *single axis* dan *assembly* keseluruhan bagian dari mesin ECM *single axis*. Mesin ECM *single axis* ini akan dilakukan uji performa untuk menganalisa unjuk kerja dari mesin ECM *single axis*.

Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi mahasiswa maupun bagi masyarakat. Penulis juga menyadari bahwa tugas akhir ini jauh dari kata sempurna sehingga penulis membutuhkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari berbagai pihak guna memperbaiki skripsi ini maupun dari alat yang kami buat, agar kedepan menjadi lebih baik dan bermanfaat untuk masyarakat luas.

Selanjutnya penulis dengan tulus mengucapkan terimakasih kepada:

- Bapak Ir. Aris Widyo Nugroho M.T., Ph.D. Selaku dosen pembimbing I yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberi bimbingan dan petunjuk sampai Tugas Akhir ini selesai.
- Bapak Sunardi S.T., M.Eng. Selaku dosen pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberi bimbingan dan petunjuk sampai tugas akhir ini selesai.
- Bapak Muhammad Budi Nur Rahman S.T, M.Eng. selaku dosen penguji tugas akhir sampai akhir ini selesai.
- Bapak Novi Caroko S.T., M.Eng selaku ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Seluruh pihak yang telah membantu kami, yang tak dapat kami sebutkan semua satu per satu.

Yogyakarta,

Bagas Yoso Kuncoro

## DAFTAR ISI

|   |      |
|---|------|
| HALAMAN JUDUL .....                                     | i    |
| LEMBAR PENGESAHAN .....                                 | ii   |
| PERNYATAAN .....  | iii  |
| MOTTO.....  | iv   |
| PERSEMBAHAN.....  | v    |
| INTISARI .....  | vi   |
| KATA PENGANTAR .....                                    | vii  |
| DAFTAR ISI .....  | viii |
| DAFTAR GAMBAR .....                                     | ix   |
| DAFTAR TABEL .....                                      | x    |
| DAFTAR LAMPIRAN .....                                   | xiv  |
| <br>  |      |
| BAB I PENDAHULUAN .....                                 | 1    |
| 1.1. Latar belakang .....                               | 1    |
| 1.2. Rumusan masalah.....                               | 3    |
| 1.3. Tujuan Penelitian .....                            | 3    |
| 1.4. Batasan Masalah .....                              | 4    |
| 1.5. Manfaat Penelitian .....                           | 4    |
| 1.6. Sistematika Penulisan .....                        | 4    |
| <br>  |      |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....        | 6    |
| 2.1 Kajian Pustaka .....                                | 6    |
| 2.2 Dasar Teori .....                                   | 14   |
| 2.2.1 <i>Electro Chemical Machining</i> (ECM).....      | 14   |
| 2.2.2. Prinsip kerja pada ECM .....                     | 15   |
| 2.2.3. Reaksi kimia pada proses ECM .....               | 17   |
| 2.2.4. Proses Ideal Pada ECM .....                      | 18   |
| 2.2.5 Jenis <i>Electrochemical Machining</i> (ECM)..... | 18   |
| 1. <i>Micro-ECM</i> .....                               | 19   |
| 2. <i>Electro Chemical Drilling</i> (ECDR) .....        | 19   |



|   |    |
|---|----|
| 3. <i>Shaped Tube Electrolytic Machining (STEM)</i> .....       | 20 |
| 4. <i>Electrostream (Capillary) Drilling</i> .....              | 21 |
| 5. <i>Electro Chemical Jet Drilling (ECJD)</i> .....            | 22 |
| 6. <i>Electro Chemical Deburring (ECDB)</i> .....               | 22 |
| 2.2.6 Peralatan Electro Chemical Machining .....                | 23 |
| 1 <i>Power Supply</i> .....                                     | 24 |
| 2 Elektrolit .....  | 24 |
| 3 Tool elektroda .....  | 25 |
| 4 Benda kerja ( <i>workpiece</i> ) .....                        | 26 |
| 5 Sistem Mekanik.....   | 27 |
| 6 Sistem Sirkulasi elektrolit.....                              | 28 |
| 7 Sistem Kontroler.....   | 29 |
| 2.2.7 Akurasi ECM .....   | 30 |
| <br>  |    |
| BAB III METODE PEMBUATAN ECM <i>SINGLE AXIS</i> .....           | 31 |
| 3.1. Alat dan Bahan pembuatan.....                              | 31 |
| 3.1.2. Alat Utama.....  | 32 |
| 3.1.2. Alat Pendukung .....                                     | 33 |
| 3.1.3. Bahan yang digunakan .....                               | 34 |
| 3.2. Diagram Alir perancangan,Pembuatan dan Pengujian.....      | 35 |
| 3.3. Perancangan Mesin ECM <i>Single Axis</i> .....             | 36 |
| 3.3.1. Perancangan sistem mekanik ECM <i>Single Axis</i> .....  | 37 |
| 1.Pembuatan Bak Pemesinan dan sistem mekanik.....               | 37 |
| 2.Pembuatan Sistem Sirkulasi .....                              | 39 |
| 3.3.2. Perancangan sistem Elektrik ECM <i>Single Axis</i> ..... | 41 |
| 1.Pemilihan komponen.....                                       | 42 |
| 2. <i>Power supply</i> ECM <i>Single Axis</i> .....             | 42 |
| 3. <i>Power supply</i> Motor <i>Stepper</i> .....               | 43 |
| 4.Pemilihan Kontroler Motor <i>Stepper</i> .....                | 44 |
| 5.Pemograman.....   | 45 |
| 3.3.3. Perancangan Meja ECM <i>Single Axis</i> .....            | 45 |

|   |    |
|---|----|
| BAB IV HASIL PEMBUATAN MESIN ECM <i>SINGLE AXIS</i> .....         | 47 |
| 4.1 Pembuatan Bak pemesanan dan sistem mekanik ECM .....          | 47 |
| 4.1.1. Pemotongan Akrilik.....                                    | 47 |
| 1. Tahap pemotongan Akrilik.....                                  | 48 |
| 2. Proses Perakitan mesin ECM <i>Single Axis</i> .....            | 50 |
| 4.2. Pemasangan Sistem Elektrolit .....                           | 55 |
| 4.3. Pembuatan Meja ECM <i>Single Axis</i> .....                  | 57 |
| 4.4. Perakitan kelistrikan mesin ECM <i>Single Axis</i> .....     | 58 |
| 4.4.1. Pemilihan <i>power supply</i> ECM <i>Single Axis</i> ..... | 60 |
| 4.4.2. Pemilihan <i>power supply</i> kontroler .....              | 61 |
| 4.4.3. Pemilihan Kontroler Motor <i>Stepper</i> .....             | 62 |
| 4.5. <i>Setting Software</i> BASCOM.....                          | 64 |
| 4.5.1. Konfigurasi <i>Software</i> BASCOM .....                   | 64 |
| 4.6. Pengujian performa Mesin ECM <i>Single Axis</i> .....        | 70 |
| 4.6.1. Pengujian sistem mekanik.....                              | 70 |
| 4.6.2. Pengujian sietem elektrolit.....                           | 71 |
| 4.7. Hasil Pengujian performa mesin <i>Single Axis</i> .....      | 72 |
| 4.7.1. Pemotongan Benda kerja.....                                | 73 |
| 4.7.2. Persiapan larutan elektrolit.....                          | 74 |
| 4.7.3. Proses pemesinan.....                                      | 75 |
| 4.7.4. Proses Pemesian.....                                       | 76 |
| 4.7.5. Hasil perhitungan MRR.....                                 | 78 |
| 4.7.6. Perhiungan <i>Overcut</i> .....                            | 81 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....                                  | 85 |
| 5.1. Kesimpulan .....   | 85 |
| 5.2. Saran... ..  | 87 |
| DAFTAR PUSTAKA .....  | 88 |
| LAMPIRAN .....  |    |

## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 2.1 <i>Assembly</i> mesin ECM .....                           | 5  |
| Gambar 2.2 <i>Displacement</i> mesin ECM .....                       | 7  |
| Gambar 2.3 Mesin ECM Suahrjono.....                                  | 7  |
| Gambar 2.4 Hasil <i>drilling ECM</i> .....                           | 8  |
| Gambar 2.5 Mesin ECM Sulisty.....                                    | 9  |
| Gambar 2.6 Benda kerja hasil pemesinan terisolasi .....              | 10 |
| Gambar 2.7 Grafik hubungan variasi konsentrasi terhadap MRR.....     | 10 |
| Gambar 2.8 Grafik pengaruh tegangan dan gap terhadap MRR .....       | 11 |
| Gambar 2.9 Grafik pengaruh tegangan dan ketirusan terhadap MRR ..... | 12 |
| Gambar 2.10 Skema mesin ECM .....                                    | 15 |
| Gambar 2.11 Reaksi proses pemesinan ECM pada besi .....              | 18 |
| Gambar 2.12. Skema representatif reaksi pada ECM .....               | 17 |
| Gambar 2.13. Electrolyte Jet .....                                   | 18 |
| Gambar 2.14. Indentasi (cekungan) pada permesinan mikro .....        | 18 |
| Gambar 2.15. Konfigurasi ECDR .....                                  | 19 |
| Gambar 2.16. Skema STEM .....  | 20 |
| Gambar 2.17. Skema <i>Electrostream (Capillary) Drilling</i> .....   | 21 |
| Gambar 2.18. <i>Electro Chemical Jet Drilling</i> .....              | 21 |
| Gambar 2.19. Mekanisme ECDB .....                                    | 22 |
| Gambar 2.20. Komponen sistem pada ECM .....                          | 22 |
| Gambar 2.21. Plat baja <i>stainless steel 304</i> .....              | 24 |
| Gambar 2.22. Plat baja <i>stainless steel 316</i> .....              | 25 |
| Gambar 2.23. Sistem mekanik.....                                     | 26 |
| Gambar 2.24. Sistem sirkulasi elektrolit .....                       | 27 |
| Gambar 2.25. <i>Regulator Voltage 220 Volt</i> .....                 | 27 |
| Gambar 2.26. Motor <i>stepper</i> nema 17 .....                      | 28 |
| Gambar 2.27. Kontroler ATMEGA16 type A .....                         | 28 |
| Gambar 2.28. IC DRV8825.....   | 29 |
| Gambar 2.29. USB TTL.....  | 29 |

|  |    |
|--|----|
| Gambar 2.30. Parameter yang mempengaruhi akurasi ECM.....                              | 30 |
| Gambar 3.1. Mesin <i>cutting laser</i> .....   | 31 |
| Gambar 3.2. Gergaji.....   | 32 |
| Gambar 3.3. Mesin Bor.....   | 32 |
| Gambar 3.4. Gerinda.....   | 33 |
| Gambar 3.5. Bor tangan.....  | 33 |
| Gambar 3.6. Tap.....   | 34 |
| Gambar 3.7. Diagram Alir pembuatan.....  | 35 |
| Gambar 3.8. Diagram alir penelitian.....   | 36 |
| Gambar 3.9. Bak Pemesinan dan sistem mekanik .....                                     | 37 |
| Gambar 3.10. Bak pemesinan ECM .....   | 39 |
| Gambar 3.11. Desain sistem elektrolit .....  | 40 |
| Gambar 3.12. <i>Power supply</i> ECM <i>Single Axis</i> .....                          | 43 |
| Gambar 3.13. <i>Power supply</i> yang akan digunakan untuk motor <i>stepper</i> ECM... | 43 |
| Gambar 3.14. Kontroler motor stepper ATMEGA16 Model A .....                            | 44 |
| Gambar 3.15. Driver motor stepper DRV 8825.....  | 44 |
| Gambar 3.16. USB TTL.....  | 45 |
| Gambar 3.17. BASCOM-AVR .....  | 45 |
| Gambar 3.18. Desain meja ECM <i>single Axis</i> .....                                  | 46 |
| Gambar 4.1 Detail mesin ECM <i>Single Axis</i> .....                                   | 48 |
| Gambar 4.2 <i>Convert to Coreldraw</i> .....   | 48 |
| Gambar 4.3. Estimasi waktu .....   | 49 |
| Gambar 4.4. Pengaturan mesin <i>cutting laser</i> .....                                | 49 |
| Gambar 4.5. Peletakan Akrilik pada Mesin <i>Cutting laser</i> .....                    | 50 |
| Gambar 4.6 Pemotongan akrilik.....   | 50 |
| Gambar 4.7. Mata bor dan Taps .....  | 51 |
| Gambar 4.8. Pengeboran dan pengetapan Akrilik .....                                    | 51 |
| Gambar 4.9. Bak pemesinanmesin ECM <i>Single Axis</i> .....                            | 52 |
| Gambar 4.10. Sistem Mekanik ECM <i>Single Axis</i> .....                               | 53 |
| Gambar 4.11. Bak pemesinandan Sistem Mekanik .....                                     | 54 |
| Gambar 4.12 Dudukan Benda Kerja.....   | 55 |

|   |    |
|---|----|
| Gambar 4.13. Elektroda Benda Kerja .....                                | 55 |
| Gambar 4.14. Sistem elektrolit ECM <i>Single Axis</i> .....             | 56 |
| Gambar 4.15. Sistem Filter ECM <i>Single Axis</i> .....                 | 56 |
| Gambar 4.16. Desain Meja ECM <i>Single Axis</i> .....                   | 57 |
| Gambar 4.17. Meja ECM <i>Single Axis</i> .....                          | 58 |
| Gambar 4.18. Skema kelistrika ECM <i>Single Axis</i> .....              | 59 |
| Gambar 4.19. Perakitan Kelistrikan .....                                | 59 |
| Gambar 4.21. Tombol.....  | 60 |
| Gambar 4.22. <i>Power supply</i> ECM <i>Single Axis</i> .....           | 61 |
| Gambar 4.23. <i>Power supply</i> kontroler ECM <i>Single Axis</i> ..... | 62 |
| Gambar 4.24. <i>Nema 17 stepper motor Single Axis Controller</i> .....  | 63 |
| Gambar 4.25. Tampilan Bascom .....                                      | 64 |
| Gambar 4.26. <i>Tool</i> pada <i>file</i> .....                         | 65 |
| Gambar 4.27. <i>file</i> pemograman .....                               | 66 |
| Gambar 4.28. tampilan pemograman .....                                  | 66 |
| Gambar 4.29. Program ECM <i>Single Axis</i> .....                       | 67 |
| Gambar 4.30. Pemilihan <i>Chip Controler</i> .....                      | 67 |
| Gambar 4.31. Pemilihan <i>Controler</i> ATMEGA16.....                   | 68 |
| Gambar 4.32. <i>Run Terminal Emulator</i> .....                         | 69 |
| Gambar 4.33. Kode Perintah .....  | 69 |
| Gambar 4.34. Pengujian Sistem Mekanik .....                             | 70 |
| Gambar 4.35. Aliran Elektrolit .....                                    | 71 |
| Gambar 4.36. Filter Elektrolit .....                                    | 71 |
| Gambar 4.37. Hasil Filter Elektrolit .....                              | 72 |
| Gambar 4.38. Benda kerja .....  | 73 |
| Gambar 4.39. Penimbangan benda kerja sebelum permesinan.....            | 73 |
| Gambar 4.40. <i>Masking</i> benda kerja .....                           | 74 |
| Gambar 4.41. Penimbangan dan pengukuran NaCl dan aquades.....           | 74 |
| Gambar 4.42. Pengadukan NaCl dan Aquades.....                           | 75 |
| Gambar 4.43. <i>Tool</i> .....  | 75 |
| Gambar 4.44. Benda kerja hasil pemesinan terisolasi .....               | 75 |

|  |    |
|--|----|
| Gambar 4.45. Peletakan benda kerja dan memposisikan <i>hose fleksible</i> .....                                | 76 |
| Gambar 4.47. Grafik perbandingan Variasi Tegangan (Volt) dengan <i>Material Removal Rate</i> (gram/detik)..... | 80 |
| Gambar 4.48. Hasil foto makro .....  | 82 |
| Gambar 4.49. Perbandingan <i>Overcut</i> dengan Tegangan.....  | 84 |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 2.1. Hasil permesinan terisolasi .....                            | 10 |
| Tabel 2.2. Elektrolit dan laju permesinan .....                         | 23 |
| Tabel 3.1. Bahan dan komponen .....                                     | 38 |
| Tabel 3.2. Komponen sirkulasi elektrolit ECM .....                      | 41 |
| Tabel 3.3. Komponen elektrik .....                                      | 42 |
| Tabel 4.1. Spesifikasi <i>power supply</i> ECM <i>Single Axis</i> ..... | 61 |
| Tabel 4.2. Spesifikasi <i>power supply</i> Kontroler.....               | 62 |
| Tabel 4.4. Spesifikasi <i>Mikro controler</i> .....                     | 63 |
| Tabel 4.5. Spesifikasi <i>Driver Motor</i> .....                        | 63 |
| Tabel 4.6. Spesifikasi motor <i>stepper</i> .....                       | 63 |
| Tabel 4.7. Hasil pemesinan <i>stainless steel 304</i> .....             | 80 |
| Tabel 4.8. Hasil pemesinan <i>stainless steel 316</i> .....             | 80 |
| Tabel 4.9. <i>Overcut Stainless Steel 304</i> .....                     | 83 |
| Tabel 4.10. <i>Overcut Stainless Steel 316</i> .....                    | 83 |