



TUGAS AKHIR - TM 145502

**RANCANG BANGUN MESIN
ELECTROCHEMICAL GRINDING DENGAN
KAPASITAS 100mm³/min**

**TITO BAGASWARA
NRP 2113030 077**

**Dosen Pembimbing
Ir. Winarto, DEA**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III
JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT - TM 145502

BUILD AND DESIGN OF ELECTROCHEMICAL GRINDING MACHINE WITH 100 mm³/min CAPACITY

TITO BAGASWARA
NRP 2113030 077

Academic Supervisor
Ir. Winarto, DEA

STUDY PROGRAM DIPLOMA III
DEPARTEMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

LEMBAR PENGESAHAN

RANCANG BANGUN MESIN ELECTROCHEMICAL GRINDING DENGAN KAPASITAS 100 mm³/min

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
Pada Bidang Studi Manufaktur
Program Studi Diploma III
Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

TITO BAGASWARA
NRP. 2113 030 077

Menyetujui,
Dosen Pembimbing Tugas Akhir



SURABAYA, FEBRUARI 2017

RANCANG BANGUN MESIN ELECTROCHEMICAL GRINDING DENGAN KAPASITAS 100 mm³/min

Nama Mahasiswa : TITO BAGASWARA
NRP : 2113 030 077
Jurusan : D3 Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Winarto, DEA

ABSTRAK

Inconel 718 mulai banyak digunakan dalam pembuatan komponen mesin pesawat terbang karena memiliki kelebihan sifat material yang baik, namun memiliki kekurangan yaitu sulit dilakukan proses pemesinan. Salah satu alternatif proses pemesinan adalah *electrochemical machining* (ECM). *Electrochemical grinding* (ECG) merupakan salah satu contoh dari ECM yang merupakan kombinasi proses penggerindaan konvensional dan proses ECM. ECG memiliki rasio penggerindaan hingga 5% konvensional dan 95% ECM. Harga mesin ECG dipasaran mencapai sekitar 53 juta rupiah. Di Laboratorium Pemesinan Non Konvensional D3 Teknik Mesin ITS terdapat komponen-komponen dan bahan-bahan yang dapat dimanfaatkan. Maka dilakukan rancang bangun mesin ECG memanfaatkan komponen-komponen dan bahan-bahan tersebut.

Untuk merancang mesin ECG diperlukan perancangan struktur, perancangan proses penggerindaan konvensional, perancangan proses ECM, pembuatan mesin ECG, dan pengujian.

Hasil dari pengujian mesin yang telah dibuat menunjukkan MRR penggerindaan konvensional 20,196 mm³/min dan MRR ECG 112,2 mm³/min dengan rasio 18% dan 82%. Kapasitas mesin telah mencapai kapasitas direncanakan.

Keyword: *ECM, ECG, metal-bonded grinding wheel, larutan elektrolit*

BUILD AND DESIGN ELECTROCHEMICAL GRINDING MACHINE WITH 100 mm³/min CAPACITY

Nama Mahasiswa : TITO BAGASWARA
NRP : 2113 030 077
Jurusan : D3 Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Winarto, DEA

ABSTRACT

Inconel 718 has been recently identified to be prevalently used in the manufacture of aircraft components due to its excellent material quality, however, with the expense of increased difficulty in the machining process. One of the machining process alternatives is electrochemical machining (ECM). Electrochemical grinding (ECG) is one of the examples of ECM which is a combination of conventional grinding and ECM processes. ECG has an up to 5%:95% grinding ratio of conventional grinding to ECM. The price of an ECG machine in the market reaches 53 million rupiahs. In the Non-Conventional Machining Laboratory for the D3 program of the ITS Mechanical Engineering department, there were a number of components and material which could be utilized. Therefore, a design of ECM machine was able to be built using these materials.

To build the ECG machine, a number of designs were incorporated including structural, conventional grinding process, and ECM process. Furthermore, these designs were followed by the assembly stage and testing.

The results of testing showed that the MRR values were observed at 20,196 mm³ /min and 112,2 mm³ /min for conventional grinding and ECG, respectively, with the ratio of 18%:82%. In conclusion, the machine capacity has fulfilled the required specification.

Keyword: ECM, ECG, metal-bonded grinding wheel, electrolite solution

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji bagi Allah SWT karena atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul:

"Rancang Bangun Mesin Electrochemical Grinding Dengan Kapasitas 100 mm³/min"

Tugas akhir ini merupakan persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa D3 Teknik Mesin ITS sesuai untuk menyelesaikan studinya.

Tugas akhir ini dapat diselesaikan tentunya dengan dukungan dan bantuan banyak pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih dan penghargaan kepada:

1. Bapak Ir. Winarto, DEA selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak ilmu, arahan, motivasi dan nasihat.
2. Bapak Ir. Suhariyanto, M.Sc. selaku dosen wali yang telah memberi arahan dari awal masuk kuliah hingga akhir masa studi.
3. Bapak Ir. Denny M.E Soedjono, MT selaku Koordinator Tugas Akhir.
4. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT selaku Kepala Program Studi Diploma III Teknik Mesin FTI-ITS.
5. Dosen dan karyawan Program Studi Diploma III Teknik Mesin FTI-ITS.
6. Ayah, ibu, adik, dan kakak beserta keluarga lainnya yang selalu memberikan doa, dukungan, motivasi, arahan dan nasihat bagi penulis.
7. Karyawan Gedung Pusat Robotika ITS yang juga membantu dalam pembuatan tugas akhir ini.
8. Teman-teman seperjuangan angkatan 2013 yang selalu bisa menghadirkan tawa dalam kesulitan.

9. Ardi, Imam, Luhung, Sandro, dan teman-teman Laboratorium Mekatronika yang sudah banyak membantu mengerjakan alat dan buku.
10. Vian, Alfian, Filla, Dania, Mbak Iip dan teman-teman yang lain yang telah membantu mencarikan dan membuatkan komponen-komponen serta bahan-bahan untuk pembuatan alat.
11. Serta semua pihak yang tak mungkin saya sebutkan satu persatu saya ucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya.

Penulis menyadari bahwa buku tugas akhir ini masih jauh dari sempurna karena keterbatasan dari penulis. Untuk itu kritik, saran, dan masukan yang membangun sangat diharapkan demi kebermanfaatan buku tugas akhir ini

Surabaya, Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat.....	2
1.5 Batasan Masalah.....	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 <i>Electrochemical Grinding</i> (ECG).....	5
2.1.1 Proses ECM.....	6
2.1.2 Proses Penggerindaan Konvensional.....	7
2.2 Komponen Proses ECG.....	8
2.2.1 Metal-bonded Grinding Wheel.....	8
2.2.2 Larutan Elektrolit.....	9
2.2.3 Power Supply.....	10
2.3 Perhitungan Proses Pemesinan.....	10
2.3.1 Perhitungan Proses Pemesinan Penggerindaan Mekanis	10
2.3.2 Perhitungan Proses Pemesinan ECG.....	11
2.4 Perhitungan Elemen Mesin.....	12
2.4.1 Daya Penggerak <i>Metal-Bonded Grinding Wheel</i>	12
2.4.2 Perhitungan Poros.....	14
BAB III METODOLOGI.....	15
3.1 Diagram alir proses pembuatan Mesin ECG.....	15
3.2 Tahapan Proses Pembuatan Mesin ECG.....	16
BAB IV PERENCANAAN DAN PEMBUATAN.....	21

4.1	Perhitungan Proses Pemesinan.....	21
4.1.1	Perhitungan Proses Pemesinan Penggerindaan Mekanis	21
4.1.2	Perhitungan Proses ECG	23
4.2	Perhitungan Elemen Mesin	24
4.2.1	Perhitungan Daya Penggerak <i>Metal-Bonded Grinding Wheel</i>	24
4.2.2	Perhitungan Poros.....	27
4.3	Komponen-Komponen Pembuatan Mesin ECG	30
4.3.1	Akuarium	30
4.3.2	<i>Bench Vice</i>	30
4.3.3	<i>Metal-Bonded Grinding Wheel</i>	31
4.3.4	Poros	32
4.3.5	Larutan Elektrolit.....	32
4.3.6	Pompa	33
4.3.7	Benda Kerja	34
4.3.8	<i>Power Supply</i>	35
4.3.9	Motor Penggerak	35
4.4	Asembli Mesin ECG	35
BAB V	HASIL DAN ANALISA.....	37
5.1	Pengujian Mesin ECG.....	37
5.1.1	Hasil Pengujian Penggerindaan konvensional:.....	37
5.1.2	Hasil Pengujian Proses ECG	39
5.2	Analisa dan pembahasan	40
5.3	Kendala saat pengujian	41
BAB VI	PENUTUP.....	43
6.1	Kesimpulan	43
6.2	Saran	43
	Daftar Pustaka	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip Kerja ECG	5
Gambar 2.2 Proses ECM	6
Gambar 2.3 Skema Penggerindaan	7
Gambar 2.4 Contoh-Contoh <i>Metal-Bonded Diamond Wheel</i>	8
Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Pembuatan Mesin ECG.....	15
Gambar 3.2 Gambar Sket Mesin ECG	17
Gambar 3.3 Gambar Sket 3D Mesin ECG	18
Gambar 4.1 Data-data pada <i>metal-bonded grinding wheel</i>	21
Gambar 4.2 Gap dari anoda ke benda kerja	23
Gambar 4.3 Dimensi Poros	24
Gambar 4.4 Dimensi <i>metal-bonded grinding wheel</i>	25
Gambar 4.5 Skema torsi pada poros.....	27
Gambar 4.6 Akuarium akrilik	30
Gambar 4.7 <i>Bench vice</i>	30
Gambar 4.8 <i>Metal-Bonded Grinding Wheel</i> tampak atas.....	31
Gambar 4.9 <i>Metal-Bonded Grinding Wheel</i> tampak samping	31
Gambar 4.10 Poros	32
Gambar 4.11 Larutan NaCl 30g/l	32
Gambar 4.12 Pompa.....	33
Gambar 4.13 Benda kerja	34
Gambar 4.14 Dimensi benda kerja	34
Gambar 4.15 Asembli mesin ECG	35
Gambar 4.16 Asembli proses ECM.....	36
Gambar 5.1 Hasil penggerindaan konvensional.....	37
Gambar 5.2 Dimensi hasil penggerindaan konvensional	38
Gambar 5.3 Hasil proses ECG	39
Gambar 5.4 Dimensi hasil proses ECG.....	40

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut Qu N. S. dkk pada jurnal *Experimental Investigation on Electrochemical Grinding of Inconel 718*, perkembangan mesin penerbangan sangat membutuhkan material dengan *specific strength* hingga *fatigue resistance* yang tinggi dan ketahanan korosi yang tinggi pada temperatur tinggi. Karena kebutuhan tersebut, Inconel 718 makin banyak digunakan dalam membuat komponen penting pada mesin penerbangan seperti *turbine blade*, *blisk*, dan *cartridge receiver*. Namun *machinability* Inconel 718 sangat buruk, karena dampak dari konduktifitas kalor yang rendah, dan modulus elastifitas yang rendah. Salah satu alternatif pemesinan adalah *electrochemical machining* (ECM).

Electrochemical grinding (ECG) merupakan salah satu contoh penggunaan ECM. ECG mengkombinasikan proses penggerindaan konvensional dan proses ECM, dimana benda kerja di lakukan proses pemesinan dengan gerak mekanis partikel abrasif dan reaksi elektrokimia secara bersamaan. Menurut Serope Kalpakjian dan Steven R. Schmid pada buku *Manufacturing Engineering and Technology* sebagian besar dari *metal removal rate* (MRR) terjadi oleh proses elektrolisis dan sekitar 5% yang terjadi oleh proses penggerindaan mekanis.

Mesin yang ada dipasaran memiliki harga yang tinggi. Berdasarkan sumber dari https://www.alibaba.com/product-detail/BYT-electrochemical-etching-machine-signage-Metal_60292737166.html?s=p untuk mesin ECM dengan tipe *metal etching machine* merek *Baoyuantong* memiliki harga \$3.999 atau sekitar Rp53.320.000 pada tanggal 2 Januari 2017. Disisi lain di laboratorium pemesinan non konvensional (PNK) D3 Teknik Mesin ITS terdapat beberapa komponen dan bahan untuk membuat mesin ECG. Maka komponen-komponen tersebut akan dimanfaatkan untuk membuat mesin ECG.

1.2 Rumusan Masalah

Pada tugas akhir ini ada beberapa hal yang akan dibahas yaitu:

1. Bagaimana merancang mesin ECG dengan memanfaatkan komponen dan bahan yang ada di laboratorium PNK D3 Teknik Mesin ITS.
2. Bagaimana kontribusi proses elektrokimia dan proses konvensional pada mesin ECG terhadap MRR benda kerja.

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat mesin ECG dengan memanfaatkan komponen dan bahan yang ada di laboratorium PNK D3 Teknik Mesin ITS.
2. Mengetahui kontribusi dari elektrokimia dan proses konvensional pada mesin ECG terhadap MRR benda kerja yang telah dibuat.

1.4 Manfaat

1. Sebagai literatur tentang pemesinan non konvensional khususnya bidang *electrochemical grinding*.
2. Sebagai alat yang dapat digunakan sebagai praktikum oleh mahasiswa yang mengambil mata kuliah pemesinan non konvensional.
3. Sebagai fasilitas untuk melakukan penelitian pengembangan lebih lanjut mengenai pemesinan non konvensional khususnya *ECG*.

1.5 Batasan Masalah

1. Elektrolit yang digunakan adalah NaCl dengan konsentrasi 30 g/l
2. Larutan elektrolit tidak mengalami pendinginan atau pemanasan

3. Larutan elektrolit tidak digunakan kembali
4. *Tool* yang digunakan adalah *metal-bonded diamond wheel* dengan model 12A2 dan diameter 100mm dengan 24 segmen pada partikel abrasifnya
5. Tegangan yang digunakan 20 V
6. RPM yang digunakan 3200
7. Benda kerja yang digunakan adalah alumunium
8. Mekanika fluida larutan elektrolit tidak dibahas
9. Hambatan pada anoda dan katoda tidak dihitung
10. Umur larutan elektrolit tidak dipertimbangkan

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, dan batasan masalah dari rancang bangun mesin ECG.

BAB II DASAR TEORI

Pada bab ini menjelaskan teori-teori dalam pembuatan mesin ECG seperti prinsip dasar, faktor-faktor utama mesin ECG, dan rumus-rumus perhitungan dalam menghitung MRR.

BAB III METODOLOGI

Pada bab ini menjelaskan urutan proses pengerjaan mesin ECG mulai dari studi literatur, desain mesin, perhitungan perencanaan, perakitan mesin, pengujian mesin, hasil dan analisa, serta kesimpulan.

BAB IV PERHITUNGAN DAN PEMBUATAN

Pada bab ini berisi tentang perhitungan perencanaan struktur, proses konvensional, dan proses ECM. Komponen-komponen yang digunakan dan proses assembly dijelaskan pada bab ini.

BAB V HASIL DAN ANALISA

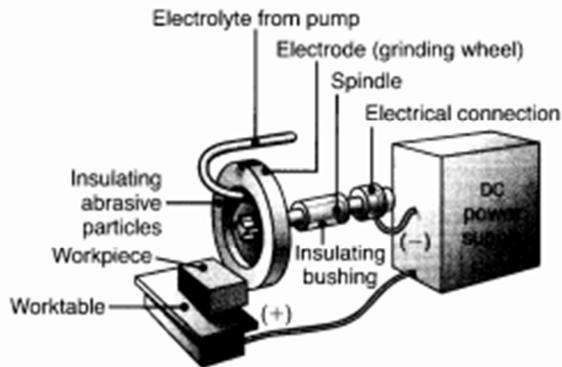
Pada bab ini berisi hasil dan analisa pengujian dari mesin ECG yang telah dibuat. Berisi kendala-kendala yang terjadi pada saat pengujian dan kelemahan yang ada pada mesin ECG.

BAB VI PENUTUP

Pada bab ini berisi kesimpulan dari proses pembuatan mesin ECG dan saran untuk pengembangan mesin ECG yang lebih sempurna untuk kedepannya.

BAB II DASAR TEORI

2.1 *Electrochemical Grinding (ECG)*



Gambar 2.1 Prinsip Kerja ECG

(Sumber: Kalpakjian, Serope dan Steven R. Schmid. 2009)

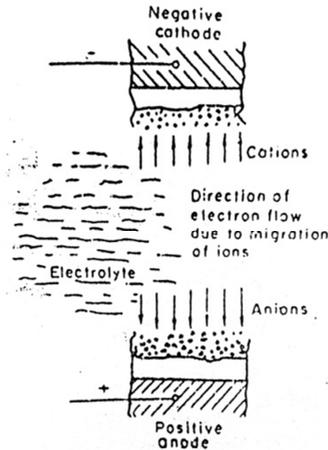
Menurut Serope Kalpakjian dan Steven R. Schmid pada buku *Manufacturing Engineering and Technology*, ECG merupakan kombinasi proses ECM dan penggerindaan konvensional. Peralatan yang digunakan mirip dengan penggerindaan konvensional (Gambar 2.1), kecuali *grinding wheel (tool)* yang merupakan katoda yang berputar dengan partikel abrasif di permukaannya. *Tool* yang digunakan adalah logam yang dibalut partikel abrasif berupa berlian atau aluminium-oksida yang biasa disebut *metal-bonded grinding wheel*.

Partikel abrasif memiliki dua fungsi yaitu: (1) insulator antara katoda dan benda kerja dan (2) membuang hasil elektrolisa benda kerja secara mekanis. Aliran larutan elektrolit diberikan untuk tahap ECM. *Current density* (rapat arus) yang digunakan pada kisaran 1-3 A/mm². Sebagian besar *metal removal* pada

ECG terjadi oleh proses elektrolisa dan sekitar 5% proses penggerindaan mekanis. Oleh karena itu keausan *grinding wheel* sangat kecil, dan benda kerja tetap dingin.

2.1.1 Proses ECM

Ketika dua elektroda dengan arus listrik DC ditempatkan pada wadah berisi larutan elektrolit maka logam dari anoda akan melapisi katoda. Itu adalah prinsip *electroplating*. Dengan beberapa modifikasi, ECM merupakan kebalikan dari *electroplating*. *Tool* bertindak sebagai katoda, benda kerja bertindak sebagai anoda.

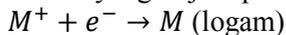


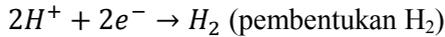
Gambar 2.2 Proses ECM

(Sumber: Pandey, P. C. dan H. S. Shan. 1976)

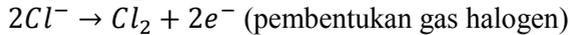
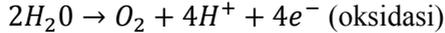
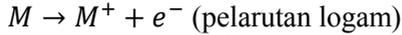
Gambar 2.2 menunjukkan elektron mengalir dari benda kerja melewati *power supply* menuju *tool*, sehingga struktur atom pada permukaan benda kerja menjadi kation. Kation akan memisahkan diri dari benda kerja dan bergerak menuju katoda.

Reaksi yang terjadi pada katoda:



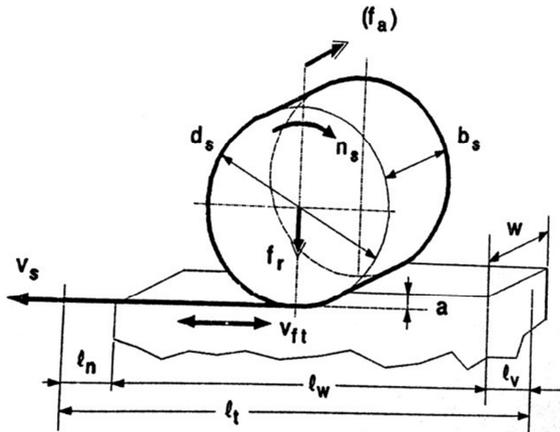


Reaksi yang terjadi pada anoda:



2.1.2 Proses Penggerindaan Konvensional

Penggerindaan adalah proses pemisahan logam yang memiliki banyak *cutting edge* karena setiap partikel abrasif bertindak sebagai *cutting edge*. Penggerindaan banyak digunakan untuk pemotongan logam dan *finishing* karena jumlah *cutting edge* yang banyak mengakibatkan hasil pemisahan menjadi lebih halus.



Gambar 2.3 Skema Penggerindaan
(Sumber: Rochim, Taufiq. 1993)

Gaya yang terjadi pada penggerindaan adalah gaya untuk memutar batu gerinda dan gaya untuk menggerus benda kerja.

2.2 Komponen Proses ECG

Pada ECG terdapat beberapa faktor agar proses ECM dapat terjadi yaitu *metal-bonded grinding wheel*, larutan elektrolit, dan *power supply*. Ketiga faktor utama ini akan dibahas dalam sub bab berikut ini

2.2.1 Metal-bonded Grinding Wheel



Gambar 2.4 Contoh-Contoh *Metal-Bonded Diamond Wheel*
(Sumber: <http://www.forturetools.com/wp-content/uploads/2015/04/Metal-bond-grinding-wheels-800px-1.jpg>)

Menurut Serope Kalpakjian dan Steven R. Schmid pada buku *Manufacturing Engineering and Technology*, *Metal-bonded grinding wheel* adalah logam yang dibalut partikel abrasif berupa berlian atau aluminium-oksida.

Logam berfungsi sebagai anoda. Partikel abrasif yang membalut logam bertindak sebagai penggerinda mekanis. Partikel abrasif ini bersifat insulator. Agar proses elektrolisa dapat terjadi dibuat segmen pada partikel abrasif. Dari segmen inilah arus akan mengalir menuju benda kerja dengan medium larutan elektrolit.

2.2.2 Larutan Elektrolit

Menurut P. C. Pandey dan H. S. Shan pada buku *Modern Machining Processes*, pada ECM terdapat beberapa fungsi elektrolit antara lain:

- Mengisi rangkaian elektrik di antara pahat dan benda kerja.
- Memungkinkan reaksi elektrokimia pada pemesinan dapat terjadi.
- Mengangkut panas yang dihasilkan selama reaksi kimia.
- Mengangkut hasil reaksi dari zona pemesinan

2.2.2.1 Sifat-Sifat Larutan Elektrolit

Elektrolit yang efektif dan efisien harus memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

- Konduktifitas elektrik tinggi
- Viskositas rendah dan kalor jenis yang tinggi
- Kestabilan kimia
- Ketahanan untuk tidak membentuk lapisan pasifator pada permukaan benda kerja
- Tidak korosif dan ramah lingkungan
- Murah dan mudah didapat

Pada banyak penggunaan larutan NaCl berfungsi sangat baik, namun korosifitasnya dapat menimbulkan masalah. NaNO_3 juga banyak digunakan dan lebih tidak korosif dibanding NaCl. Tetapi kecenderungan untuk menjadi pasifator dan konduktifitas elektrik yang rendah membuat kurang bisa digunakan dalam banyak kebutuhan.

2.2.2.2 Konsentrasi Larutan

Elektrolit pekat memberikan tahanan yang rendah terhadap aliran arus. Tetapi larutan akan mudah mengkristal pekat dan menyumbat area pemesinan.

Elektrolit encer berguna dalam beberapa kondisi, diantaranya kehalusan permukaan yang tinggi, dan tegangan pemesinan yang tinggi.

2.2.3 Power Supply

Menurut Serope Kalpakjian dan Steven R. Schmid pada buku *Manufacturing Processes for Engineering Material*, proses ECG membutuhkan *direct current* (DC) *power supply* dengan rentang tegangan 5-25 V, rapat arus dengan rentang 1-3 A/mm² dari luas area pemesinan. *Power supply* dengan kapasitas setinggi 40.000 A hingga 5 A dapat digunakan karena MRR merupakan fungsi dari laju perpindahan ion, tidak dipengaruhi oleh kekuatan, kekerasan, atau keuletan benda kerja, yang mana harus konduktor elektrik.

2.3 Perhitungan Proses Pemesinan

Pada proses ECG terdapat dua proses pemesinan yaitu secara mekanis dan elektrokimia sehingga terdapat dua perhitungan proses pemesinan.

2.3.1 Perhitungan Proses Pemesinan Penggerindaan Mekanis

Menurut Taufiq Rochim dalam buku Teori dan Teknologi Proses Pemesinan, MMR proses gerinda dapat dihitung dengan persamaan:

$$Z = a \cdot b_s \cdot v_f \quad (2.1)$$

Dimana:

Z = metal removal rate (mm³/min)

a = kedalaman potong (mm)

b_s = lebar batu gerinda (mm)

v_f = kecepatan makan (mm/s)

Pada proses gerinda kecepatan potong dapat dihitung dengan persamaan:

$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60000} \quad (2.2)$$

Dimana:

v_c = kecepatan potong (m/s)

d = diameter baru gerinda (mm)

n = putaran batu gerinda (rpm)

Kecepatan makan dapat dihitung dengan persamaan:

$$v_f = \omega_h \cdot r_g \quad (2.3)$$

Dimana:

ω_h = kecepatan sudut handle (rad/s)

r_g = jari jari gerigi pada handle (m)

2.3.2 Perhitungan Proses Pemesinan ECG

Menurut Serope Kalpakjian dan Steven R. Schmid pada buku *Manufacturing Processes for Engineering Material*, MRR ECG dapat dihitung dengan persamaan:

$$Z = \frac{G \cdot I_c}{\rho \cdot F} \quad (2.4)$$

Dimana:

Z = metal removal rate (mm³/min)

G = massa atom/ekivalensi (gram)

I_c = arus listrik (A)

ρ = massa jenis benda kerja (g/mm³)

F = konstanta Faraday (96500 C/mol)

Kecepatan makan gerinda menuju benda kerja dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$v_f = \left(\frac{G}{\rho \cdot F} \right) \cdot \left(\frac{E}{g \cdot K_p} \right) \cdot K \quad (2.5)$$

Dimana:

E = tegangan (V)

g = gap (mm)

K_p = koefisien kerugian (1,5-3)

K = konduktifitas elektrolit ($\text{ohm}^{-1}/\text{mm}$)

2.4 Perhitungan Elemen Mesin

Pada perancangan mesin ECG ada beberapa hal yang perlu dilakukan perhitungan yaitu daya motor penggerak *tool* yang sesuai, dan perhitungan poros sebagai penyambung daya dari spindle ke *tool*.

2.4.1 Daya Penggerak *Metal-Bonded Grinding Wheel*

Daya untuk menggerakkan *tool* dipengaruhi oleh dua daya yaitu daya untuk menggerakkan batu gerinda itu sendiri dan daya penggerindaan.

$$P_{total} = P_1 + P_2 \quad (2.6)$$

Dimana:

P_1 = daya untuk menggerakkan batu gerinda (kW)

P_2 = daya penggerindaan (kW)

Daya untuk menggerakkan batu gerinda dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$P_1 = T \cdot \omega \quad (2.7)$$

Dimana:

T = momen torsi (Kg.mm)

ω = kecepatan sudut (rpm)

Momen torsi dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$T = I \cdot a \quad (2.8)$$

Dimana:

I = momen inersia (Kg.m²)

a = percepatan sudut (rad/s²)

karena *tool* berbentuk silinder dengan poros sejajar sumbu maka momen inersia dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$I = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 \quad (2.9)$$

Dimana:

m = massa *tool* (Kg)

r = jari-jari *tool* (m)

Percepatan sudut dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$a = \frac{\omega - \omega'}{\Delta t} \quad (2.10)$$

Dimana:

ω = kecepatan sudut akhir (rad/s)

ω' = kecepatan sudut mula (rad/s)

Δt = waktu dari keadaan diam hingga berputar (s)

Percepatan sudut dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \quad (2.11)$$

Daya penggerindaan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P_2 = \frac{F \cdot L \cdot \omega}{1000} \quad (2.12)$$

Dimana:

F = gaya penggerindaan (N)

L = kedalaman potong (mm)

2.4.2 Perhitungan Poros

Poros digunakan sebagai penerus daya dari motor untuk memutar *tool*. Untuk menghitung diameter poros digunakan persamaan berikut:

$$\frac{0,5S_{yp}}{S_f} \geq \frac{16}{\pi d^3} \sqrt{M^2 + T_p^2} \quad (2.13)$$

Dimana:

S_{yp} = strength yield point (Kgf/mm²)

d = diameter poros (mm)

T_p = torsi pada poros (Kgf.mm)

M = momen bending pada poros (Kgf.mm)

S_f = faktor keamanan

Untuk poros direncanakan tidak ada momen bending karena tenaga langsung ditransmisikan melalui spindle motor dengan sumbu yang sejajar. Maka torsi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$T_p = 9,74 \cdot 10^5 \frac{P_d}{n} \quad (2.14)$$

Dimana:

P_d = daya desain (kW)

Daya desain dapat dihitung dengan persamaan berikut:

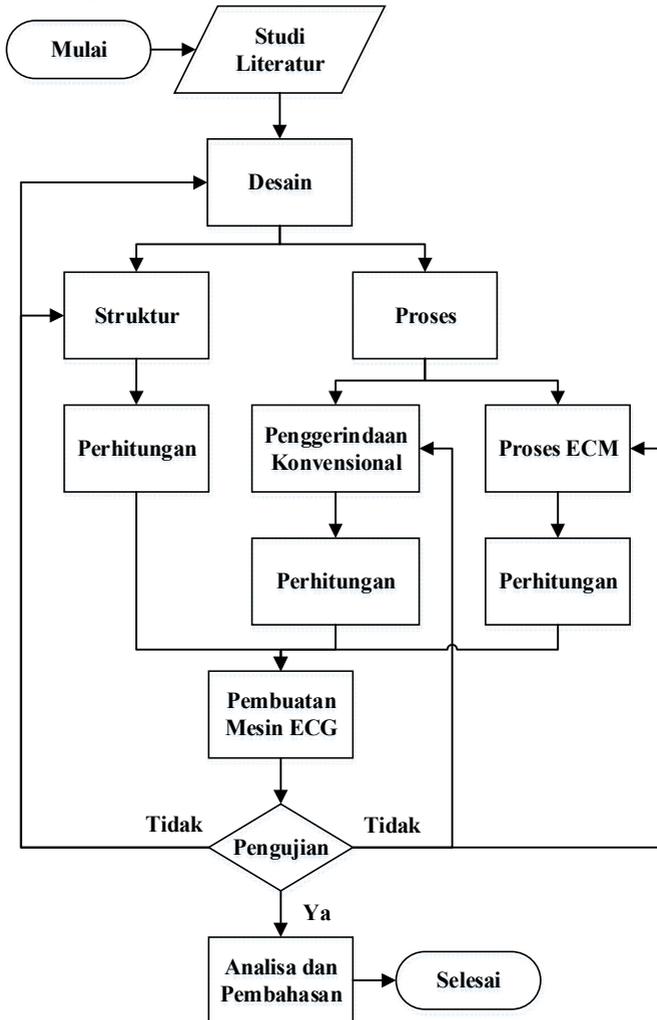
$$P_d = P \cdot S_f \quad (2.15)$$

Dimana:

P = beban daya yang diberikan (kW)

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram alir proses pembuatan Mesin ECG



Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Pembuatan Mesin ECG

3.2 Tahapan Proses Pembuatan Mesin ECG

1) Studi literatur

Pada tahap studi literatur ini dilakukan pencarian literasi tentang ECG. Tentang prinsip dasar proses ECG, parameter-parameter yang digunakan pada ECG, variabel-variabel pada mesin ECG, dan permasalahan yang ada pada mesin ECG.

2) Desain

Mesin akan didesain dengan kapasitas $100 \text{ mm}^3/\text{min}$ dengan $10 \text{ mm}^3/\text{min}$ dilakukan oleh proses penggerindaan konvensional dan $90 \text{ mm}^3/\text{min}$ dilakukan oleh proses ECM. Maka ada beberapa hal yang akan didesain dan dilakukan perhitungan.

a. Desain Struktur

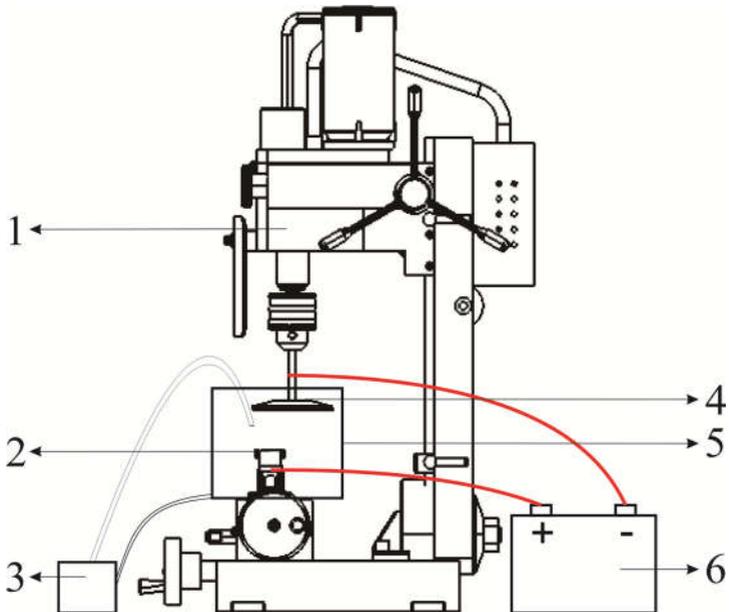
Pada proses ini dilakukan perhitungan untuk mencari daya yang dibutuhkan untuk memutar batu gerinda menggunakan persamaan (2.7) dan daya untuk melakukan penggerindaan dengan persamaan (2.12). Penjumlahan dua daya tersebut dijadikan patokan untuk menentukan daya motor minimum yang dibutuhkan mesin ECG. Setelah itu perhitungan daya motor akan digunakan untuk menentukan diameter poros minimum dengan persamaan (2.13)

b. Desain Proses Penggerindaan Konvensional

Pada proses ini dilakukan perhitungan agar mencapai MRR yang direncanakan yaitu $10 \text{ mm}^3/\text{min}$. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.1) dengan kedalaman makan maksimum yang bisa dilakukan oleh batu gerinda yaitu 3 mm dan luasan batu gerinda 5 mm. Dari perhitungan tersebut didapatkan kecepatan makan. Dengan persamaan (2.3) dilakukan perhitungan untuk mencari kecepatan putaran handle pada mesin *bench drill*.

c. Desain Proses ECM

Pada proses ini dilakukan perhitungan agar mencapai MRR yang direncanakan yaitu $90 \text{ mm}^3/\text{min}$. Perhitungan dilakukan dengan persamaan (2.4) dengan benda kerja aluminium yang memiliki masa atom 27, bilangan ekivalensi 3, dan masa jenis $0,0027 \text{ g/mm}^3$. Dari perhitungan tersebut didapatkan arus minimum untuk melakukan proses ECM. Dilakukan perhitungan kecepatan makan dengan proses ECM menggunakan persamaan (2.5).

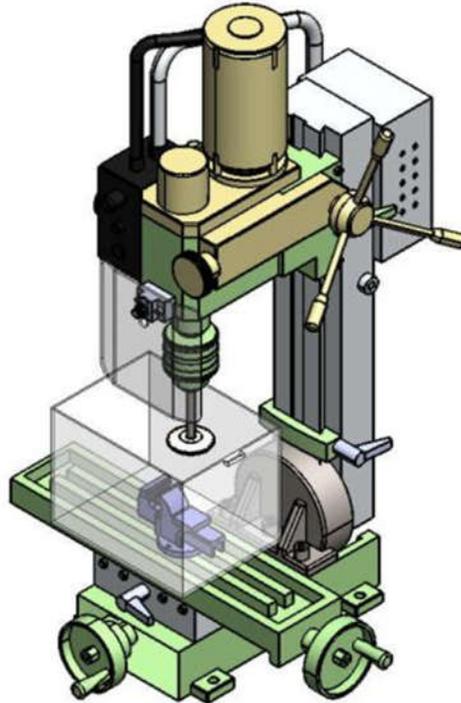


Gambar 3.2 Gambar Sket Mesin ECG

Keterangan:

1. Mesin *bench drill*
2. *Bench vice*
3. Pompa

4. *Metal-bonded diamond wheel*
5. *Akuarium akrilik*
6. *Power supply*



Gambar 3.3 Gambar Sket 3D Mesin ECG

3) **Pembuatan Mesin ECG**

Pada proses ini bahan-bahan dan komponen-komponen untuk membuat mesin ECG dikumpulkan sesuai dengan desain yang telah dibuat dan dihitung. Setelah terkumpul sesuai dengan desain bahan-bahan dan komponen-komponen dilakukan asembli dan dicoba untuk

di *running* untuk mengecek apakah komponen-komponen dan bahan-bahan bekerja sesuai fungsinya.

4) Pengujian Mesin ECG

Pengujian mesin dilakukan dengan cara *plunge grinding*. Pertama dilakukan proses penggerindaan konvensional selama kurang lebih 1 menit. Kemudian dilakukan pengukuran dimensi untuk mendapatkan kedalaman makan. Setelah itu dilakukan proses ECG dengan waktu yang sama, kemudian dilakukan pengukuran dimensi. Dari pengujian tersebut akan didapatkan data kedalaman makan dari masing-masing proses. Untuk mendapatkan gaya pemakanan yang sama dilakukan pembebanan pada *handle* dengan beban yang sama pada masing-masing proses.

5) Analisa hasil dan pembahasan

Pada tahap ini data yang diperoleh dari pengujian mesin ECG dilakukan analisa dan pembahasan untuk mendapatkan MRR dari proses penggerindaan konvensional dan ECG. Dari analisa dan perhitungan akan diketahui seberapa besar kontribusi proses elektrolisa terhadap penggerindaan konvensional pada mesin ECG yang telah dibuat.

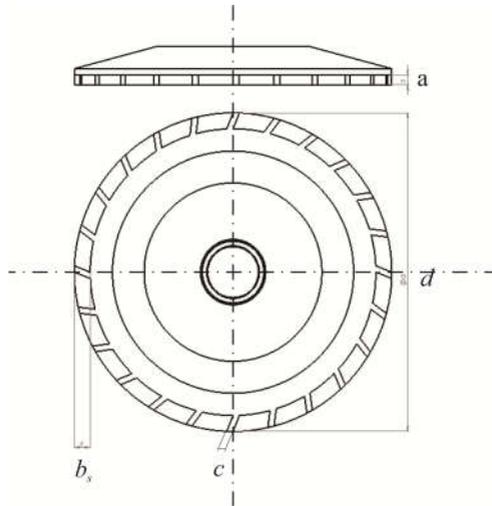
BAB IV PERENCANAAN DAN PEMBUATAN

4.1 Perhitungan Proses Pemesinan

Mesin ECG yang akan dibuat direncanakan memiliki kapasitas MRR $100 \text{ mm}^3/\text{min}$. Dengan estimasi 10% proses penggerindaan konvensional dan 90% proses ECM.

4.1.1 Perhitungan Proses Pemesinan Penggerindaan Mekanis

Data-data yang diketahui:



Gambar 4.1 Data-data pada *metal-bonded grinding wheel*

- $a = 3 \text{ mm}$
- $b_s = 5 \text{ mm}$
- $c = 2 \text{ mm}$ (jarak antar segmen)
- $n = 3200 \text{ rpm}$
- $d = 100 \text{ mm}$
- $r_g = 1/2d = 50 \text{ mm}$

$$Z = a \cdot b_s \cdot V_f$$

$$10\text{mm}^3/\text{min} = 3\text{mm} \cdot 5\text{mm} \cdot V_f$$

$$V_f = \frac{10\text{mm}^3/\text{min}}{3\text{mm} \cdot 5\text{mm}}$$

$$V_f = 0,667\text{mm}/\text{min} = 0,000011117\text{m}/\text{s}$$

Maka:

$$V_f = \omega_h \cdot r_g$$

$$0,000011117\text{m}/\text{s} = \omega_h \cdot 0,05\text{m}$$

$$\omega_h = \frac{0,000011117\text{m}/\text{s}}{0,05\text{m}}$$

$$\omega_h = 0,00022234\text{rad}/\text{s}$$

Sehingga

$$\omega_h = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_h}{60}$$

$$0,00022234\text{rad}/\text{s} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_h}{60}$$

$$n_h = \frac{0,00022234\text{rad}/\text{s} \cdot 60}{2 \cdot \pi}$$

$$n_h = 0,00212\text{m}/\text{s}$$

Dimana:

n_h = putaran handle (m/s)

Kecepatan potong:

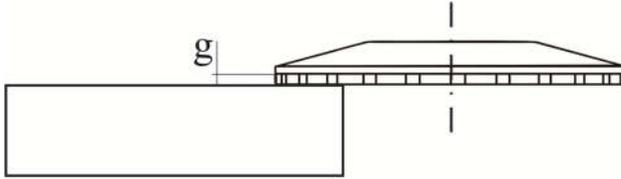
$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}$$

$$V_c = \frac{\pi \cdot 100\text{mm} \cdot 3200\text{rpm}}{1000}$$

$$V_c = 16,755\text{m}/\text{s}$$

4.1.2 Perhitungan Proses ECG

Data-data yang diketahui:



Gambar 4.2 Gap dari anoda ke benda kerja

Benda kerja adalah aluminium (Al), memiliki:

Massa atom Al = 27

Valensi atom Al = 3

ρ Al = 0.0027 g/mm³

menurut Peter Mikulecky, dkk pada buku *AP Chemistry for Dummies*.

konstanta Faraday = 96500 C \approx 1608,333 A.min

(sumber Peter Mikulecky, dkk)

Voltase = 20 V

K_p = 3

g = 3 mm (jarak anoda ke benda kerja)

K = 25,467 Ω^{-1} mm⁻¹ (Lampiran 1)

$$Z = \frac{G \cdot I_c}{\rho \cdot F}$$

$$90\text{mm}^3/\text{min} = \frac{\frac{27}{3} g \cdot I_c}{0,0027\text{g}/\text{mm}^3 \cdot 1608,333\text{Amin}}$$

$$I_c = \frac{90\text{mm}^3/\text{min} \cdot 0,0027\text{g}/\text{mm}^3 \cdot 1608,333\text{Amin}}{\frac{27}{3} g}$$

$$I_c = 43,425\text{A} \approx 50\text{A}$$

Menurut perhitungan untuk memperoleh MRR yang direncanakan dibutuhkan arus minimal 43,425 A dibulatkan keatas menjadi 50 A

Kecepatan makan dapat dihitung sebagai berikut:

$$v_f = \left(\frac{G}{\rho \cdot F} \right) \cdot \left(\frac{E}{g \cdot K_p} \right) \cdot K$$

$$v_f = \left(\frac{9}{0,0027 \cdot 1.608,333} \right) \cdot \left(\frac{20}{3.3} \right) \cdot 25,467$$

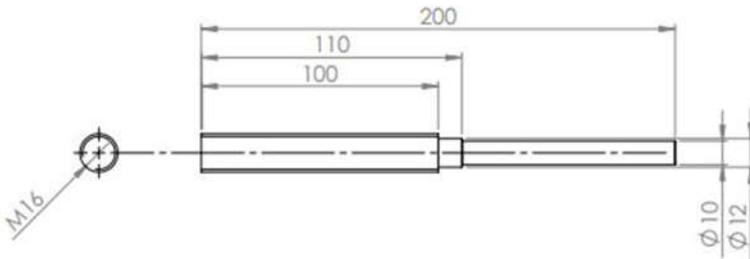
$$v_f = 2,0725 \cdot 2,222 \cdot 25,467$$

$$v_f = 117,431 \text{ mm/min}$$

4.2 Perhitungan Elemen Mesin

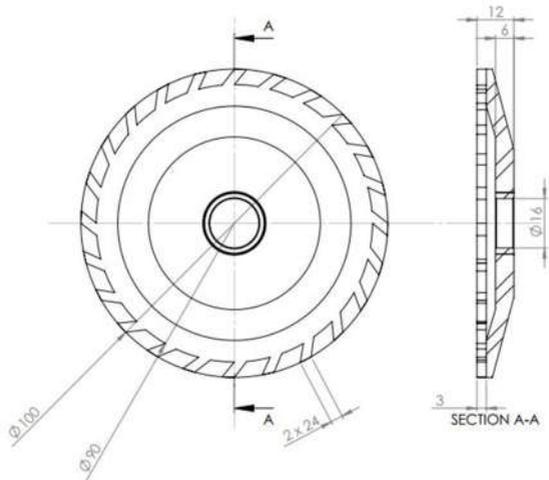
4.2.1 Perhitungan Daya Penggerak *Metal-Bonded Grinding Wheel*

Data-data yang diketahui:



Gambar 4.3 Dimensi Poros

Massa Poros = 309 g



Gambar 4.4 Dimensi *metal-bonded grinding wheel*

Massa *metal-bonded grinding wheel* = 120 g

Massa *tool* = 429 g = 0,429 Kg

Δt = 0.5 s

Momen inersia:

$$I = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2$$

$$I = \frac{1}{2} \cdot 0,429 \text{ Kg} \cdot 0,05^2$$

$$I = 0,000536 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$$

Maka kecepatan sudut:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot 3200 \text{ rpm}}{60}$$

$$\omega = 335,103 \text{ rad/s}$$

sehingga percepatan sudut:

$$a = \frac{\omega - \omega'}{\Delta t}$$

$$a = \frac{335,103\text{rad/s} - 0}{0,5\text{s}}$$

$$a = 670,206\text{rad/s}^2$$

Dapat diperoleh torsi:

$$T = I \cdot a$$

$$T = 0,000536\text{Kgm}^2 \cdot 670,206\text{rad/s}^2$$

$$T = 0,359\text{Nm}$$

Daya penggerak *tool*:

$$P_1 = T \cdot \omega$$

$$P_1 = 0,359\text{Nm} \cdot 335,103\text{rad/s}$$

$$P_1 = 120,302\text{W}$$

Strength yield point aluminium adalah 30 MPa dilihat dari sumber *Material Data Book, Cambridge University Engineering Department*.

Maka:

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A}$$

Dimana:

$$\sigma_{max} = 30 \text{ MPa}$$

$$A = s \cdot b_s$$

$$= 10 \text{ mm} \cdot 5 \text{ mm}$$

$$= 50 \text{ mm}^2 = 0,00005 \text{ m}^2$$

Sehingga:

$$F = \sigma_{max} \cdot A$$

$$F = 30\text{MPa} \cdot 0,00005\text{m}^2$$

$$F = 1500\text{N}$$

Jadi gaya penggerindaan:

$$P_2 = \frac{F \cdot L \cdot \omega}{1000}$$

$$P_2 = \frac{1500N \cdot 0,0001m \cdot 335,103rpm}{1000}$$

$$P_2 = 0,0503kW$$

$$P_{total} = P_1 + P_2$$

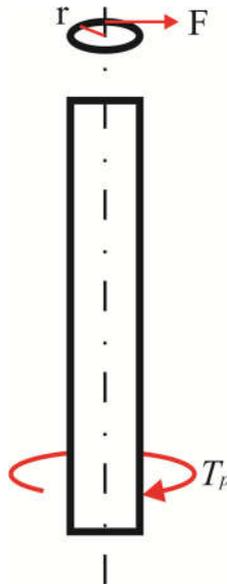
$$P_{total} = 0,120302kW + 0,0503kW$$

$$P_{total} = 0,171kW = 0,229HP$$

Sehingga daya motor minimal yang dibutuhkan adalah 0,229 HP.

4.2.2 Perhitungan Poros

Skema tegangan torsi yang terjadi pada poros



Gambar 4.5 Skema torsi pada poros

Data-data yang diketahui:

Bahan yang digunakan baja ST 42

$$S_{yp} = 42 \text{ Kgf/mm}^2$$

$$P_{total} = 0,171 \text{ kW}$$

$$S_f = 1 \text{ (untuk beban ringan)}$$

torsi yang terjadi:

$$T_p = 9,74 \cdot 10^5 \cdot \frac{P_d}{n}$$
$$T_p = 9,74 \cdot 10^5 \cdot \frac{0,171 \text{ kW}}{3200}$$
$$T_p = 52,048 \text{ Kg.mm}$$

Maka diameter minimum poros:

$$\frac{0,5S_{yp}}{S_f} \geq \frac{16}{\pi d^3} \sqrt{M^2 + T_p^2}$$
$$\frac{0,5 \cdot 42}{1} \geq \frac{16}{\pi d^3} \sqrt{52,048^2}$$
$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \times 52,048}{\pi \times 0,5 \times 42}}$$
$$d \geq 2,328 \text{ mm}$$

Jadi diameter minimum poros yang dibutuhkan adalah 2.328 mm, namun digunakan poros dengan diameter 16 mm karena lubang pada *metal-bonded grinding wheel* memiliki ukuran sekitar 16 mm.

Maka gaya yang terjadi pada ulir dapat dihitung dengan persamaan berikut:

Tegangan Tarik:

$$\sigma_t = \frac{W}{\left(\frac{\pi}{4}\right) d_1^2}$$

Dimana:

W = massa x gravitasi (Kgf)

d_1 = diameter inti ulir

$$\sigma_t = \frac{0,12 \times 9,81}{\left(\frac{\pi}{4}\right) \times (13,835^2)}$$

$$\sigma_t = \frac{1,177}{150,331}$$

$$\sigma_t = 7,829 \times 10^{-3} \text{Kgf/mm}^2$$

Tekanan kontak pada permukaan ulir

$$q = \frac{W}{\pi d_2 h z}$$

Dimana:

d_2 = diameter efektif ulir

h = tinggi profil

z = jumlah ulir

$$z = \frac{H}{p}$$

$$z = \frac{12,8}{2}$$

$$z = 6,4$$

Dimana:

H = tinggi mur

$$h = \frac{d - d_1}{2}$$

$$h = \frac{16 - 13,835}{2}$$

$$h = 1,083$$

maka:

$$q = \frac{1,177}{\pi \times 14,701 \times 1,083 \times 6,4}$$

$$q = 3,677 \times 10^{-3} \text{Kgf/mm}^2$$

4.3 Komponen-Komponen Pembuatan Mesin ECG

Pada bab ini dibahas komponen-komponen apa saja yang digunakan untuk membuat mesin ECG.

4.3.1 Akuarium



Gambar 4.6 Akuarium akrilik

Akuarium ini digunakan sebagai wadah proses ECG agar larutan elektrolit tidak menyebar kemana-mana. Terbuat dari bahan akrilik dan merupakan salah satu komponen yang ada di laboratorium PNK D3 Teknik Mesin ITS.

4.3.2 Bench Vice



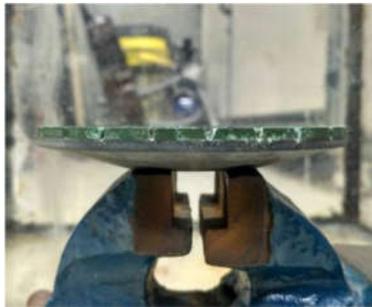
Gambar 4.7 Bench vice

Bench vice merupakan salah satu komponen yang terdapat di laboratorium PNK D3 Teknik Mesin ITS. Nantinya digunakan untuk mencekam benda kerja.

4.3.3 *Metal-Bonded Grinding Wheel*



Gambar 4.8 *Metal-Bonded Grinding Wheel* tampak atas



Gambar 4.9 *Metal-Bonded Grinding Wheel* tampak samping

Tool yang digunakan adalah *metal-bonded grinding wheel* diameter 100 mm dengan tipe 12A2 dengan 24 segmen pada partikel abrasifnya. Tipe 12A2 biasanya digunakan untuk *surface grinding* atau pembuatan dimensi yang presisi.

4.3.4 Poros



Gambar 4.10 Poros

Poros yang digunakan adalah poros ulir 16 mm karena menyesuaikan lubang tengah pada *metal-bonded grinding wheel*. Salah satu sisinya dilakukan pengurangan dimensi menjadi 10 mm untuk mempermudah pencekaman oleh spindle pada motor. Di tengah poros terdapat bearing untuk mempermudah mengalirkan arus listrik dari *power supply* menuju *tool*.

4.3.5 Larutan Elektrolit



Gambar 4.11 Larutan NaCl 30g/l

Menurut R. N. Goswami, dkk pada jurnal *Experimental Investigation on Electrochemical Grinding (ECG) of Alumina-Aluminum Interpenetrating Phase Composite*, perbandingan larutan NaCl dan NaNO₃ dengan tiga level konsentrasi yang berbeda (20-25-30g/l) menghasilkan aliran arus 10-45-60 ampere untuk NaCl dan 6-16-18 untuk NaNO₃. Karena tingginya arus yang mengalir maka MRR yang dihasilkan akan lebih tinggi sehingga NaCl digunakan sebagai elektrolit.

4.3.6 Pompa



Gambar 4.12 Pompa

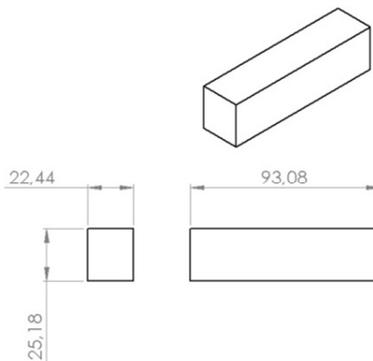
Pompa digunakan untuk mengalirkan larutan elektrolit menuju celah antara *tool* dan benda kerja. Pompa yang digunakan memiliki tipe HL-881 dengan kapasitas 1000 l/h dan head 1 m.

4.3.7 Benda Kerja



Gambar 4.13 Benda kerja

Benda kerja yang digunakan adalah aluminium. Digunakan aluminium karena lebih lunak daripada besi atau baja dan lebih mudah dilakukan proses pemesinan sehingga hasil pemesinannya mudah diamati. Memiliki massa 140 g dan volume $52593,849 \text{ mm}^3$



Gambar 4.14 Dimensi benda kerja

4.3.8 *Power Supply*

Menurut perhitungan minimal dibutuhkan arus 43,425 A. Maka maka dapat digunakan *power supply* yang ada di laboratorium Manufaktur D3 Teknik Mesin ITS yang memiliki kapasitas 200 A

4.3.9 *Motor Penggerak*

Menurut perhitungan dibutuhkan motor penggerak dengan daya minimal 0,229 HP. Motor penggerak yang digunakan adalah mesin drill duduk yang ada di laboratorium Manufaktur D3 Teknik Mesin ITS.

4.4 *Asembli Mesin ECG*

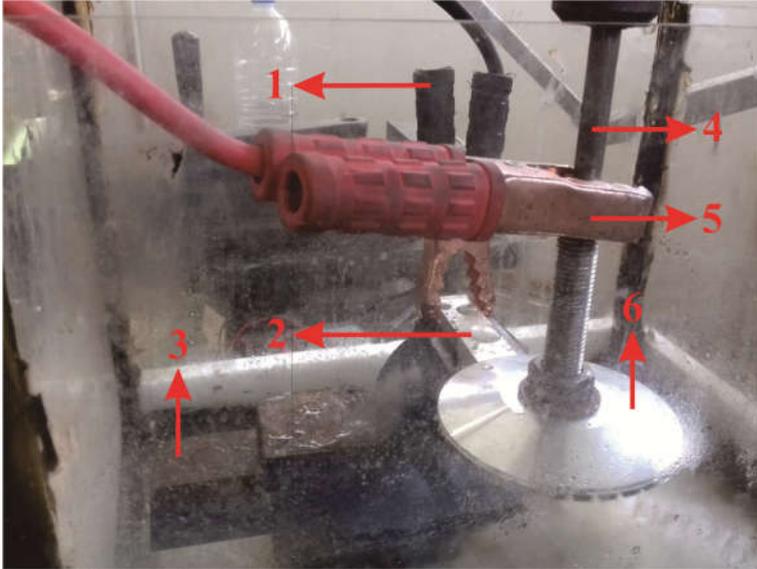


Gambar 4.15 Asembli mesin ECG

Keterangan:

1. Mesin *frais*
2. Pemberat

3. Akuarium Akrilik
4. Isolator *stayrofoam*



Gambar 4.16 Asembli proses ECM

Keterangan:

1. Kabel massa positif
2. Benda kerja
3. *Bench vice*
4. Poros
5. Kabel massa negatif
6. *Metal-bonded diamond wheel*

BAB V

HASIL DAN ANALISA

5.1 Pengujian Mesin ECG

Pengujian dilakukan dengan cara melakukan penggerindaan konvensional dan proses ECG secara bergiliran dengan waktu yang sama. Untuk mendapatkan gaya penggerindaan yang sama maka *handle* pada *bench drill* diberi pemberat dengan berat 200 g dan lengan 1 m, maka gaya yang terjadi adalah 1,962 Nm. Kemudian dilakukan pengukuran terhadap pengurangan dimensi yang terjadi. Hasil dari pengujian adalah sebagai berikut.

5.1.1 Hasil Pengujian Penggerindaan konvensional:



Gambar 5.1 Hasil penggerindaan konvensional

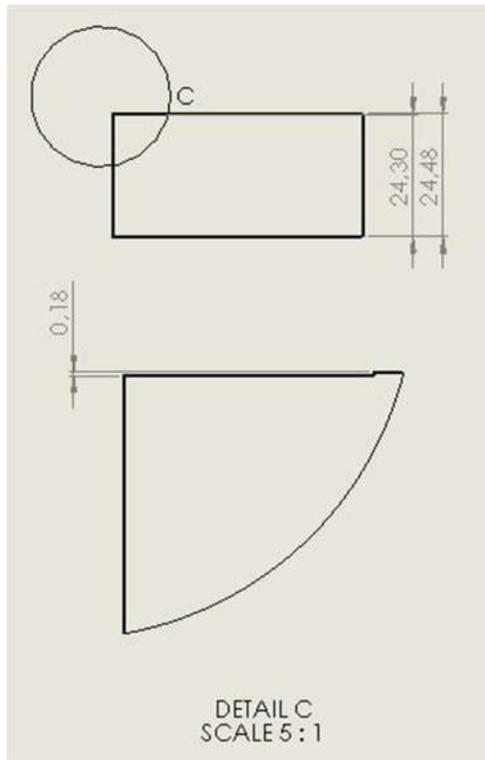
Waktu pengujian	= 1 menit
Pembebanan pemberat	= 200 g
Dimensi yang digerinda	= 24,48 mm
Dimensi hasil penggerindaan	= 24,30 mm
Kedalaman penggerindaan (a)	= 0,18 mm

Maka MRR yang dihasilkan dihitung menggunakan:

$$MRR = \frac{\text{Panjang penggerindaan} \times b_s \times a}{\text{waktu penggerindaan}}$$

$$MRR = \frac{22,44 \times 5 \times 0,18}{1}$$

$$MRR = 20,196 \text{ mm}^3/\text{min}$$



Gambar 5.2 Dimensi hasil penggerindaan konvensional

5.1.2 Hasil Pengujian Proses ECG

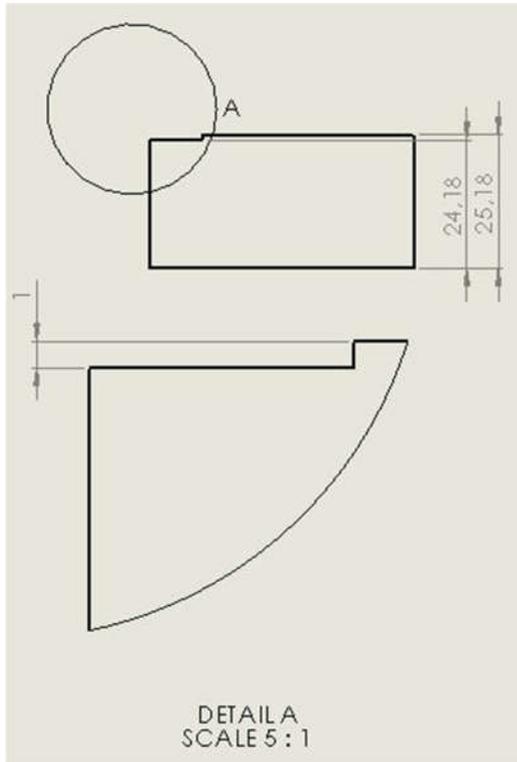


Gambar 5.3 Hasil proses ECG

Waktu pengujian	= 1 menit
Pembebanan pemberat	= 200 g
Dimensi yang digerinda	= 25,18 mm
Dimensi hasil penggerindaan	= 24,18 mm
Kedalaman Penggerinaan (a)	= 1 mm
Ampere yang digunakan	= 120 A

Maka MRR yang dihasilkan dihitung menggunakan:

$$MRR = \frac{\text{Panjang penggerindaan} \times b_s \times a}{\text{waktu penggerindaan}}$$
$$MRR = \frac{22,44 \times 5 \times 1}{1}$$
$$MRR = 112,2 \text{ mm}^3/\text{min}$$



Gambar 5.4 Dimensi hasil proses ECG

5.2 Analisa dan pembahasan

Dari pengujian yang dilakukan diketahui bahwa MRR yang terjadi pada penggerindaan konvensional memiliki presentase 18% dan proses ECM 82%.

Kapasitas mesin saat pengujian sudah memenuhi kapasitas perencanaan yaitu $100 \text{ mm}^3/\text{min}$ namun dengan ampere yang lebih besar dari perencanaan yaitu 120 A. Karena ketika digunakan ampere yang sesuai dengan perencanaan yaitu 50 A kapasitas penggerindaan tidak mencapai kapasitas rencana. Ketidaksesuaian ini diakibatkan oleh.

1. Rugi-rugi arus listrik oleh hambatan medium perantara dari *power supply* menuju anoda dan katoda. Rugi-rugi ini memang dijadikan batasan masalah. Pada tugas akhir ini juga difokuskan pada terjadinya proses elektrokimia pada mesin ECG tidak mendetail hingga analisa kerugian arus.
2. Konsentrasi larutan elektrolit 30 g/l yang memiliki daya hantar efektif 60 A. Hal ini menyebabkan kecepatan arus yang melalui larutan elektrolit menjadi kecil.

5.3 Kendala saat pengujian

1. Larutan elektrolit

Pada proses ECG dibutuhkan aliran larutan elektrolit yang kontinyu, namun larutan elektrolit yang telah dipakai telah membawa debris hasil ECG sehingga tidak bisa dipakai kembali setelah penggunaan.

2. Kebocoran akuarium akrilik

Seal yang ada pada akuarium sudah mulai longgar sehingga terjadi kebocoran larutan elektrolit keluar dari akuarium sehingga mengotori tempat pengujian.

3. Timbulnya endapan NaCl

Setelah dilakukan proses ECG terdapat endapan NaCl pada bagian yang dilalui oleh NaCl seperti akuarium akrilik, *bench vice*, *metal-bonded grinding wheel*, dan poros. Endapan ini dapat mempercepat proses korosi pada komponen komponen yang berbahan besi.

4. Tidak bisa dilakukan proses *surface grinding*

Karena pemutar gerinda menggunakan mesin *bench drill* maka tidak bisa dilakukan pemakanan secara horozontal, sehingga dibutuhkan perancangan ulang agar mesin ECG yang telah dibuat dapat bergerak horizontal.

BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Dari proses yang telah dijalankan dari desain, perhitungan, pembuatan dan pengujian didapatkan beberapa kesimpulan yaitu:

1. Mesin ECG dengan memanfaatkan komponen-komponen dan bahan-bahan yang ada di laboratorium PNK D3 Teknik Mesin ITS telah berhasil di buat dengan kapasitas 112,2 mm³/min untuk proses ECG dan 20,196 mm³/min untuk proses konvensional.
2. Mesin ECG yang telah dibuat memiliki kontribusi proses elektrokimia sebesar 82% dan 18% konvensional.

6.2 Saran

Dari proses pengujian mesin ECG yang telah dibuat terdapat beberapa kelemahan. Maka ada beberapa saran untuk memperbaiki proses penggunaan mesin ECG yang telah dibuat.

1. Dilakukan proses pengolahan sisa larutan elektrolit seperti penyaringan agar elektrolit dapat digunakan kembali sehingga tidak diperlukan larutan elektrolit dengan volume yang banyak.
2. Dilakukan perancangan dan pembuatan ulang akuarium akrilik agar tidak terjadi kebocoran dan mampu mengakomodasi proses pengolahan sisa larutan elektrolit.
3. Dibuat sirkulasi larutan elektrolit yang baik agar tidak terjadi endapan pada area penting pada proses ECG seperti pada *bench vice*, metal-bonded grinding wheel, akuarium akrilik, dan poros.
4. Diberi penggerak dengan arah horizontal untuk memfasilitasi proses *surface grinding*.

Daftar Pustaka

[Online]. - 9 Januari 2016. - <https://regoone.com/sites/tokopedia.com/mainan-hobi/mainan-hobi-lainnya/alat-berkebun-hewan-peliharaan/306045-hai-long-hl-881-pompa-akuarium>.

[Online]. - 2 Februari 2017. - https://www.alibaba.com/product-detail/BYT-electrochemical-etching-machine-signage-Metal_60292737166.html?s=p .

Goswami R. N., Mitra S. dan Sarkar S. Experimental Investigation on Electrochemical Grinding (ECG) of Alumina-Aluminum Interpenetrating Phase Composite [Jurnal]. - London : Springer-Verlag, 2009. - Int J Adv Manuf Technol : Vol. 40:729–741.

Kalpakjian Serope dan Schmid Steven R. Manufacturing Engineering and Technology [Buku]. - New Jersey : Pearson, 2009.

Kalpakjian Serope dan Schmid Steven R. Manufacturing Processes for Engineering Materials [Buku]. - New Jersey : Prentice Hall, 2003.

Material Data Book [Laporan]. - [s.l.] : Department, Cambridge University Engineering, 2003.

Mikulecky Peter, Gilman Michelle Rose dan Brutlag Kate AP Chemistry for Dummies [Buku]. - Indianapolis : Wiley Publishing, Inc., 2009.

Pandey P. C. dan Shan H. S. Modern Machining Processes [Buku]. - New Delhi : Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 1976.

Rochim Taufiq Teori dan Teknologi Proses Pemesinan [Buku]. - Bandung : Higher Education Development Support Project, 1993.

S. Qu N. [et al.] Experimental Investigation on Electrochemical Grinding of Inconel 718 [Jurnal]. - [s.l.] : Procedia CIRP, 2015. - 15th Machining Innovations Conference for Aerospace Industry : Vol. 35:16-19.

Sularso dan Suga Kiyokatsu Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin [Buku]. - Jakarta : PT Pradnya Paramita, 2008. - Vol. XII.

Lampiran 1

ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF AQUEOUS SOLUTIONS

The following table gives the electrical conductivity of aqueous solutions of some acids, bases, and salts as a function of concentration. All values refer to 20 °C. The conductivity κ (often called specific conductance in older literature) is the reciprocal of the resistivity. The molar conductivity Λ is related to this by $\Lambda = \kappa/c$, where c is the amount-of-substance concentration of the electrolyte. Thus if κ has units of millisiemens per centimeter (mS/cm), as in this table, and c is expressed in mol/L, then Λ has units of $S\text{ cm}^2\text{ mol}^{-1}$. For these electrolytes the concentration c correspond-

ing to the mass percent values given here can be found in the table "Concentrative Properties of Aqueous Solutions" in Section 8.

References

1. *CRC Handbook of Chemistry, and Physics, 70th Edition*, Weast, R. C., Ed., CRC Press, Boca Raton, FL, 1989, p. D-221.
2. Wolf, A. V., *Aqueous Solutions and Body Fluids*, Harper and Row, New York, 1966.

Electrical Conductivity κ in mS/cm for the Indicated Concentration in Mass Percent

Name	Formula	0.5%	1%	2%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	40%	50%
Acetic acid	CH ₃ COOH	0.3	0.6	0.8	1.2	1.5	1.7	1.7	1.6	1.4	1.1	0.8
Ammonia	NH ₃	0.5	0.7	1.0	1.1	1.0	0.7	0.5	0.4			
Ammonium chloride	NH ₄ Cl	10.5	20.4	40.3	95.3	180						
Ammonium sulfate	(NH ₄) ₂ SO ₄	7.4	14.2	25.7	57.4	105	147	185	215			
Barium chloride	BaCl ₂	4.7	9.1	17.4	40.4	76.7	109.0	137.0				
Calcium chloride	CaCl ₂	8.1	15.7	29.4	67.0	117	157	177	183	172	106	
Cesium chloride	CsCl	3.8	7.4	13.8	32.9	65.8	102	142				
Citric acid	H ₃ C(OH)(COO) ₃	1.2	2.1	3.0	4.7	6.2	7.0	7.2	7.1			
Copper(II) sulfate	CuSO ₄	2.9	5.4	9.3	19.0	32.2	42.3					
Formic acid	HCOOH	1.4	2.4	3.5	5.6	7.8	9.0	9.9	10.4	10.5	9.9	8.6
Hydrogen chloride	HCl	45.1	92.9	183								
Lithium chloride	LiCl	10.1	19.0	34.9	76.4	127	155	170	165	146		
Magnesium chloride	MgCl ₂	8.6	16.6	31.2	66.9	108	129	134	122	98		
Magnesium sulfate	MgSO ₄	4.1	7.6	13.3	27.4	42.7	54.2	51.1	44.1			
Manganese(II) sulfate	MnSO ₄		6.2	10.6	21.6	34.5	43.7	47.6				
Nitric acid	HNO ₃	28.4	56.1	108								
Oxalic acid	H ₂ C ₂ O ₄	14.0	21.8	35.3	65.6							
Phosphoric acid	H ₃ PO ₄	5.5	10.1	16.2	31.5	59.4	88.4	118	146	173	209	
Potassium bromide	KBr	5.2	10.2	19.5	47.7	95.6	144	194				
Potassium carbonate	K ₂ CO ₃	7.0	13.6	25.4	58.0	109	152	188	223			
Potassium chloride	KCl	8.2	15.7	29.5	71.9	143	208					
Potassium dihydrogen phosphate	KH ₂ PO ₄	3.0	5.9	11.0	25.0	44.6						
Potassium hydrogen carbonate	KHCO ₃	4.6	8.9	17.0	38.8	72.4	101	128				
Potassium hydrogen phosphate	K ₂ HPO ₄	5.2	9.9	18.3	40.3							
Potassium hydroxide	KOH	20.0	38.5	75.0	178							
Potassium iodide	KI	3.8	7.5	14.2	35.2	71.8	110	188	224			
Potassium nitrate	KNO ₃	5.5	10.7	20.1	47.0	87.3	124	157	182			
Potassium permanganate	KMnO ₄	3.5	6.9	13.0	30.5							
Potassium sulfate	K ₂ SO ₄	5.8	11.2	21.0	48.0	88.6						
Silver(I) nitrate	AgNO ₃	3.1	6.1	12.0	26.7	49.8	72.0	92.8	112	129	162	
Sodium acetate	NaCH ₃ COO	3.9	7.6	14.4	30.9	53.4	64.1	69.3	69.2	64.3		
Sodium bromide	NaBr	5.0	9.7	18.4	44.0	84.6	122	157	191	216		
Sodium carbonate	Na ₂ CO ₃	7.0	13.1	23.3	47.0	74.4	88.6					
Sodium chloride	NaCl	8.2	16.0	30.2	70.1	126	171	204	222			
Sodium citrate	Na ₃ C ₆ H ₅ O ₇		7.4	12.8	26.2	42.1	52.0	57.1	57.3	53.5		
Sodium dihydrogen phosphate	NaH ₂ PO ₄	2.2	4.4	9.1	21.0	33.2	43.3	49.6	53.1	54.0	46.1	
Sodium hydrogen carbonate	NaHCO ₃	4.2	8.2	15.0	31.4							
Sodium hydrogen phosphate	Na ₂ HPO ₄	4.6	8.7	15.6	31.4							
Sodium hydroxide	NaOH	24.8	48.6	93.1	206							
Sodium nitrate	NaNO ₃	5.4	10.6	20.4	46.2	82.6	111	134	152	165	178	
Sodium phosphate	Na ₃ PO ₄	7.3	14.1	22.7	43.5							
Sodium sulfate	Na ₂ SO ₄	5.9	11.2	19.8	42.7	71.3	91.1	109				
Sodium thiosulfate	Na ₂ S ₂ O ₃	5.7	10.7	19.5	43.3	76.7	104	123	134	136	118	
Strontium chloride	SrCl ₂	5.9	11.4	22.0	49.1	91.5	127	153	168	178		
Sulfuric acid	H ₂ SO ₄	24.3	47.8	92	211							
Trichloroacetic acid	CCl ₃ COOH	10.3	19.6	37.2	84.7	148	193	221				
Zinc sulfate	ZnSO ₄	2.8	5.4	10.0	20.5	33.7	43.3					

II.4 YIELD STRESS, σ_y , AND TENSILE STRENGTH, σ_b

		σ_y (MPa)	σ_b (MPa)	
Metals	Ferrous	Cast Irons	215 - 700	350 - 1000
		High Carbon Steels	400 - 1155	550 - 1640
Non-ferrous	Medium Carbon Steels	305 - 900	410 - 1200	
		Low Carbon Steels	250 - 395	345 - 580
	Low Alloy Steels	400 - 1100	460 - 1200	
	Stainless Steels	170 - 1000	480 - 2240	
	Aluminum Alloys	30 - 500	58 - 550	
	Copper Alloys	8 - 14	12 - 20	
	Lead Alloys	70 - 400	185 - 475	
	Magnesium Alloys	70 - 1100	345 - 1200	
	Nickel Alloys	250 - 1245	300 - 1625	
	Titanium Alloys	80 - 450	135 - 500	
Ceramics	Glasses	Borosilicate Glass (*)	264 - 384	22 - 32
		Silica Ceramic (*)	700 - 2119	45 - 177
	Polymers	Soda-Lime Glass (*)	1100 - 1600	65 - 180
		Block (*)	360 - 420	31 - 35
	Technical	Concrete, typical (*)	32 - 60	2 - 6
		Stone (*)	34 - 248	5 - 17
		Alumina (*)	690 - 5500	350 - 665
		Aluminum Nitride (*)	1970 - 2700	197 - 270
		Boron Carbide (*)	2593 - 5887	350 - 560
		Silicon (*)	3200 - 3460	160 - 180
Composites	Metal Polymer	Silicon Carbide (*)	1090 - 5250	370 - 680
		Silicon Nitride (*)	524 - 5000	690 - 800
	Natural	Tungsten Carbide (*)	3347 - 6833	370 - 550
		Aluminum/Silicon Carbide CFRP GFRP	280 - 324 550 - 1050 110 - 192	290 - 365 550 - 1050 138 - 241
Natural	Bamboo Cork Leather Wood, typical (Longitudinal) wood, typical (Transverse)	35 - 44	36 - 45	
		0.3 - 1.5	0.5 - 2.5	
		5 - 10	20 - 26	
		30 - 70	60 - 100	
		2 - 6	4 - 9	

(Data courtesy of Granta Design Ltd)

Polymers ¹	σ_y (MPa)	σ_b (MPa)	
Elastomer	BuA Rubber	2 - 3	5 - 10
	EVAc	12 - 18	16 - 20
	Nitrone (NR)	20 - 25	20 - 25
	Natural Rubber (NR)	20 - 30	22 - 32
	Neoprene (CR)	3.4 - 24	3.4 - 24
	Polyurethane Elastomers (EPU)	25 - 51	25 - 51
	Silicone Elastomers	2.4 - 5.5	2.4 - 5.5
	ABS	18.5 - 51	27.6 - 55.2
	Cellulose Polymers (CA)	25 - 45	25 - 50
	Konmer (I)	6.3 - 15.9	17.2 - 37.2
Thermoplastics	Nylons (PA)	50 - 94.8	60 - 165
	Polycarbonate (PC)	59 - 70	90 - 72.4
	PEEK	65 - 95	70 - 103
	Polyethylene (PE)	17.9 - 29	20.7 - 44.8
	PEI	56.5 - 62.3	48.3 - 72.4
	Acrylic (PMMA)	53.6 - 72.4	48.3 - 70.6
	Nylon (PA)	20.9 - 37.2	30 - 41.6
	Polypropylene (PP)	23.7 - 56.2	35.9 - 61.5
	Polyethylene (PE)	40 - 53.6	31 - 62
	Polyurethane Thermoplastics (EPU)	35.4 - 52.1	40.7 - 65.1
Thermoset	Teflon (PTFE)	15 - 25	20 - 30
	Epoxyes	36 - 71.7	45 - 89.6
	Phenolics	27.6 - 49.7	34.5 - 62.1
	Polystyrol	33 - 40	41.4 - 89.6
Polymer Foams	Flexible Polymer Foam (VLD)	0.01 - 0.12	0.24 - 0.65
	Flexible Polymer Foam (LD)	0.02 - 0.3	0.24 - 2.35
	Flexible Polymer Foam (MD)	0.05 - 0.7	0.43 - 2.95
	Rigid Polymer Foam (LD)	0.3 - 1.7	0.45 - 2.25
	Rigid Polymer Foam (MD)	0.4 - 3.5	0.65 - 5.1
	Rigid Polymer Foam (HD)	0.8 - 12	1.2 - 12.4

¹ For full names and acronyms of polymers – see Section V.(*) NB: For ceramics, yield stress is replaced by *compressive strength*, which is more relevant in ceramic design. Note that ceramics are of the order of 10 times stronger in compression than in tension.

II.2 DENSITY, ρ

		ρ (Mg/m ³)		ρ (Mg/m ³)				
Metals	Ferrous	Cast Irons	7.05 - 7.25	Elastomer	Butyl Rubber	0.9 - 0.92		
		High Carbon Steels	7.6 - 7.9		EVA	0.945 - 0.965		
	Non-ferrous	Medium Carbon Steels	7.6 - 7.9		Isoprene (IR)	0.93 - 0.94		
		Low Carbon Steels	7.6 - 7.9		Natural Rubber (NR)	0.92 - 0.93		
		Stainless Steels	7.6 - 8.1		Nitrone (CR)	1.23 - 1.25		
		Aluminum Alloys	2.5 - 2.9		Polyurethane Elastomers (EPU)	1.02 - 1.25		
		Copper Alloys	8.83 - 8.94		Silicone Elastomers	1.3 - 1.6		
		Lead Alloys	10 - 11.4		ABS	1.01 - 1.21		
		Magnesium Alloys	1.74 - 1.95		Cellulose Polymers (CA)	0.98 - 1.3		
		Nickel Alloys	8.83 - 8.95		Konomer (I)	0.93 - 0.96		
Ceramics	Glasses	Titanium Alloys	4.4 - 4.8	Nylons (PA)	1.12 - 1.14			
		Zinc Alloys	4.95 - 7	Polycarbonate (PC)	1.14 - 1.21			
	Borosilicate Glass	2.2 - 2.3	PEEK	1.3 - 1.32				
	Glass Ceramic	2.2 - 2.5	Polyethylene (PE)	0.959 - 0.96				
	Silica Glass	2.17 - 2.22	PET	1.29 - 1.4				
	Soda-Lime Glass	2.44 - 2.49	Acrylic (PMMA)	1.16 - 1.22				
	Porous	Brick	1.9 - 2.1	Axonal (POM)	1.39 - 1.43			
		Concrete, typical	2.2 - 2.6	Polypropylene (PP)	0.89 - 0.91			
	Technical	Stones	Polystyrene (PS)	1.04 - 1.05	Thermoset	Polyurethane Thermoplastics (TPU)	1.12 - 1.28	
			Alumina	3.5 - 3.98		PC	1.1 - 1.2	
Aluminum Nitride		3.26 - 3.33	Teflon (PTFE)	2.14 - 2.4				
Boron Carbide		2.35 - 2.55	Epoxy	1.11 - 1.4				
Silicon		2.3 - 2.35	Phenolics	1.24 - 1.32				
Silicon Carbide		3 - 3.21	Polyester	1.04 - 1.4				
Silicon Nitride		3 - 3.29	Polymer Foams	Flexible Polymer Foam (VLD)		0.016 - 0.035		
Tungsten Carbide		15.3 - 15.9		Flexible Polymer Foam (LD)		0.038 - 0.07		
Composites		Metal Polymer		Aluminum/Silicon Carbide		2.66 - 2.9	Flexible Polymer Foam (MD)	0.07 - 0.115
				CFRP		1.5 - 1.6	Rigid Polymer Foam (LD)	0.056 - 0.07
Natural		GFRP	1.75 - 1.97	Rigid Polymer Foam (MD)	0.078 - 0.165			
		Bamboo	0.6 - 0.6	Rigid Polymer Foam (FD)	0.17 - 0.47			
		Cork	0.12 - 0.24					
		Leather	0.81 - 1.05					
		Wood, typical (Longitudinal)	0.6 - 0.8					
		Wood, typical (Transverse)	0.6 - 0.8					

1 For full names and acronyms of polymers – see Section V
(Data courtesy of Granta Design Ltd).

Lampiran 4

Tabel 7.1 (b) Ukuran standar ulir kasar metris (JIS B 0205).

Ulir			Jarak bagi p	Tinggi kaitan H_1	Ulir dalam		
					Diameter luar D	Diameter efektif D_2	Diameter dalam D_1
1	2	3			Ulir luar		
					Diameter luar d	Diameter efektif d_2	Diameter inti d_1
M 6		M 7	1	0,541	6,000	5,350	4,917
M 8			1 1,25	0,541 0,677	7,000 8,000	6,350 7,188	5,917 6,647
M 10		M 9	1,25	0,677	9,000	8,188	7,647
		M 11	1,5 1,5	0,812 0,812	10,000 11,000	9,026 10,026	8,376 9,376
M 12	M 14			1,75	0,947	12,000	10,863
		2 2		1,083 1,083	14,000 16,000	12,701 14,701	11,835 13,835
M 20	M 18		2,5	1,353	18,000	16,376	15,294
	M 22		2,5 2,5	1,353 1,353	20,000 22,000	18,376 20,376	17,294 19,294
M 24		M 27		3	1,624	24,000	22,051
	3 3,5			1,624 1,894	27,000 30,000	25,051 27,727	23,752 26,211
M 36	M 33		3,5	1,894	33,000	30,727	29,211
	M 39		4 4	2,165 2,165	36,000 39,000	34,402 36,402	31,670 34,670
M 42		M 45		4,5	2,436	42,000	39,077
	4,5 5			2,436 2,706	45,000 48,000	42,077 44,752	40,129 42,587
M 56	M 52		5	2,706	52,000	48,752	46,587
	M 60		5,5 5,5	2,977 2,977	56,000 60,000	52,428 56,428	50,046 54,046
M 64		M 68		6	3,248	64,000	60,103
	6			3,248	68,000	64,103	61,505

Catatan: (1) Kolom 1 merupakan pilihan utama. Kolom 2 atau kolom 3 hanya dipilih jika terpaksa.

BIOGRAFI PENULIS



Tito Bagaswara lahir di Malang, Jawa Timur, 7 November 1994. Ayahnya seorang sales wiraswasta, Edi Santoso. Ibunya, Endah Setiyowati, seorang pegawai negeri sipil di Dinas Lingkungan Hidup Kota Malang.

Penulis menamatkan sekolah dasar di SD Negeri Gadang IX Malang dan sekolah menengah di SMP Negeri 5 Malang. Setelah tamat SMP dia berhasil memperoleh beasiswa dari *Sampoerna Foundation* dan melanjutkan sekolah di SMA Negeri 10 Malang *Sampoerna Academy*. Tiga tahun masa SMA dijalani di asrama. Selama SMA penulis aktif di beberapa kegiatan seperti paskibra dan *community service*.

Setelah tamat SMA penulis melanjutkan studi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan mengambil jurusan teknik mesin program diploma III. Selama berkuliah penulis mengikuti beberapa pelatihan diantaranya, Latihan Keterampilan Manajerial Mahasiswa (LKMM) tingkat pra-dasar dan tingkat dasar, Pelatihan Jurnalistik tingkat dasar dan tingkat lanjut. Penulis pernah menjadi grader/asisten laboratorium perautan untuk mata kuliah proses manufaktur di D3 Teknik Mesin ITS.

Pada tahun kedua kuliahnya, penulis menjabat sebagai Direktur Badan Semi Otonom (BSO) Pers Himpunan Mahasiswa D3 Teknik Mesin ITS. Selama menjabat penulis berhasil merutinkan penerbitan buletin himpunan tiap bulan. Pada tahun ketiga penulis mendapat amanah sebagai Ketua Himpunan Mahasiswa D3 Teknik Mesin ITS. Dari sinilah penulis mendapatkan pengalaman dan ilmu tentang organisasi.

Penulis menamatkan studinya selama 4 tahun. Pada tahun ke empat penulis banyak menggunakan waktunya di laboratorium Gedung Pusat Robotika untuk memperdalam ilmu mengenai mekatronika dan *teamwork* untuk menyelesaikan penelitian dan pengembangan seputar mekatronika.