TUGAS AKHIR - TM 145502

RANCANG BANGUN MESIN GERINDA KIMIA ELEKTRONIK VERTIKAL YANG MAMPU BERGERAK HORIZONTAL DENGAN KAPASITAS 1000 mm^3/min

ANGGA PERMANA PUTRA
NRP 10211500000039

Dosen Pembimbing
Ir. Winarto,DEA

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

FINAL PROJECT – TM 145502

DESIGN OF VERTICAL ELECTROCHEMICAL GRINDING MACHINE THAT IS ABLE TO MOVE HORIZONTAL WITH A CAPACITY OF 1000 mm^3/min

ANGGA PERMANA PUTRA
NRP 10211500000039

Advisor
Ir. Winarto, DEA

INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Vocational
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

LEMBAR PENGESAHAN

RANCANG BANGUN MESIN GERINDA KIMIA ELEKTRONIK VERTIKAL YANG BERGERAK HORIZONTAL DENGAN KAPASITAS 1000 mm3/min

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
Pada Bidang Studi Manufaktur
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
ANGGA PERMANA PUTRA
NRP. 10211500000039

Menyetujui,
Dosen Pembimbing
Tugas Akhir

Ir. Wijanarko, DEA
NIP. 19601213 198811 1 001

SURABAYA, JULI 2018

RANCANG BANGUN MESIN GERINDA KIMIA ELEKTRONIK VERTIKAL YANG MAMPU BERGERAK HORIZONTAL DENGAN KAPASITAS 1000 mm^3/min

Nama Mahasiswa : Angga Permana Putra
NRP : 10211500000039
Departemen : Teknik Mesin Industri FV-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Winarto, DEA

Abstrak

Pemesinan non konvensional berkembang pesat baik dalam lingkungan industri maupun di lingkungan pendidikan. Termasuk di Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang sudah memiliki mesin – mesin non konvensional, salah satunya adalah *Electrochemical Grinding*, dimana alat tersebut memiliki kekurangan dalam arah gerak pahat, sehingga dilakukan modifikasi pada meja mesin dan menghitung daya yang digunakan motor penggerak, yang bertujuan sebagai alat untuk praktikum di lab Pemesinan Non Konvensional Teknik Mesin Industri – FV – ITS.

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. Pada mesin ECG sebelumnya akan dibuat penyempurnaan sistem gerak mata gerinda pada mesin *Electrochemical Grinding* agar dapat melakukan pekerjaan yang lebih membutuhkan kepresisian. Sistem gerak akan bergerak secara sumbu x, y dan z. Untuk bergerak arah sumbu x dan y akan dipasang motor sehingga bergerak secara manual, sedangkan untuk sumbu z digerakkan secara manual dengan tangan manusia.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa mesin ECG ini memiliki kapasitas 1179,11 mm^3/min, dan dengan kecepatan gerak arah sumbu x atau sumbu y dengan kecepatan maksimal 200

mm/min, dengan daya motor penggerak pahat sebesar 0,335 HP dan daya motor penggerak meja sebesar 0,268 HP.

Kata kunci : ECM, ECG, Manufacturing Engineering.

DESIGN OF VERTICAL ELECTROCHEMICAL GRINDING MACHINE THAT IS ABLE TO MOVE HORIZONTAL WITH A CAPACITY OF 1000 mm^3/min

Name of Student : **Angga Permana Putra**
NRP : **10211500000039**
Department : **Teknik Mesin Industri FV-ITS**
Advisor : **Ir. Winarto, DEA**

Abstract

Non-conventional machining is growing rapidly in both industrial and educational environments. Included in the Department of Mechanical Industrial Engineering, Faculty of Vocational, Sepuluh Nopember Institute of Technology which already has non-conventional machines, one of which is Electrochemical Grinding, where the tool still has deficiencies in terms of motion tool, so that modifications are made in the direction of motion on the grinding wheel and calculate the power used by the propulsion motors, for purpose as a tool for practicum in the lab of Non-Conventional Machining of Industrial Machine Engineering - FV - ITS.

According to Serope Kalpakjian and Steven R. Schmid on the book Manufacturing Engineering and Technology, most of the Metal Removal Rate (MRR) occurs by electrolysis process and about 5% occur by mechanical grinding process. In the previous ECG machine will be made improvements to the grinding eye system on the Electrochemical Grinding machine in order to perform more precise occupation of precision. The motion system will move x, y and z axis. To move the direction of the x and y axes will be mounted the motor so that it moves manually, while the z-axis is manually moved by human hand.

The results of this research indicate that this ECG machine has a capacity of 1179.11 mm^3/min, and with x or y axis direction velocity with a maximum speed of 200 mm / min, with a drive

motor power of 0.335 HP and a motor drive power of 0.268 HP.

Keyword : ECM, ECG, Manufacturing Engineering.

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 Gerinda Kimia Elektronik Vertikal yang Mampu Bergerak Horizontal dengan Kapasitas 1000 mm^3/min"

Tugas akhir ini merupakan persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Teknik Mesin Industri 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 nasehat.
2. Bapak Ir. Nur Husodo, M.Sc. selaku dosen wali yang telah memberi arahan dari awal masuk kuliah hingga akhir masa studi.
3. Bapak Ir. Suhariyanto, M.Sc sekalu Koordinator Tugas Akhir.
4. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, M.T. selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
5. Dosen dan karyawan Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
6. Ayah, ibu, adik, beserta keluarga lainya yang selalu memberikan doa, dukungan, motivasi, arahan dan nasihat bagi penulis.
7. Teman-teman seperjuangan angkatan 2015 yang selalu bisa menghadirkan tawa dalam kesulitan.
8. Ayu dan Lutfi yang sudah banyak membantu mengerjakan alat dan buku.
9. Wim, Aji, fikri dan teman-teman yang lain yang telah membantu mencarikan dan membuatkan komponen-komponen serta bahan-bahan untuk pembuatan alat.
10. Nuril yang selalu ikut membantu dalam proses pengerjaan alat ini.

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, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
LEMBAR PENGESAHAN.....iii
ABSTRAK.....iv
ABSTRACT vi
KATA PENGANTAR viii
DAFTAR ISI x
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR TABEL xiv

BAB I PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 1
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. *Electrochemical Grinding (ECG)*.....5
2.1.1 Proses *Electrochemical Machining (ECM)*.....6
2.1.2 Proses Penggerindaan Konvensional.....7
2.2. *Bearing*.....7
2.2.1 Klasifikasi Bearing.....8
2.2.2 Prediksi Umur Bearing.....10
2.3. Ulir Penggerak.....13
2.3.1 Tegangan Pada Ulir Penggerak.....14
2.3.2 Torsi Untuk Ulir Penggerak 15
2.4. Poros 17
2.4.1 Perhitungan Poros.....17
2.4.2 Daya Desain Poros.....17
2.5. Roda Gigi 18
2.5.1 Klasifikasi Roda Gigi 18
2.5.2 Ukuran – ukuran Dasar Roda Gigi 19

2.5.3 Beban Pada Roda Gigi.....20
2.5.4 Persamaan AGMA 21
2.6. Perhitungan Elemen Mesin 26
2.6.1 Daya Penggerak *Metal-Bonded Grinding Wheel* 26
2.7 Perhitungan Gerinda Silindris 28

BAB III METODOLOGI.....29
3.1 Diagram Alir Proses Pembuatan Mesin ECG 29
3.2 Tahapan Proses Pembuatan Mesin ECG 30

BAB IV PERENCANAAN DAN PERHITUNGAN 47
4.1 Perhitungan Struktur 47
4.1.1 Perhitungan Bantalan 49
4.1.1.1 Prediksi Umur Bearing.....50
4.2 Perhitungan Sistem Gerak 51
4.2.1 Perhitungan Daya Penggerak *Metal-Bonded Grinding Wheel* 51
4.2.2 Perhitungan Poros 55
4.2.3 Perhitungan Ulir Penggerak 57
4.2.4 Perhitungan Roda Gigi 59
4.2.5 Perhitungan Gerinda Silindris 63
4.3 Hasil dan Analisa 65

BAB V KESIMPULAN 69
5.1 Kesimpulan 69
5.2 Saran 69
Daftar Pustaka 70
Lampiran

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Proses ECG.....5
Gambar 2.2 Lintasan Elektrolit pada ECM.....6
Gambar 2.3 Skema Penggerindaan 7
Gambar 2.4 Konstruksi bearing 8
Gambar 2.5 Rolling bearing.....9
Gambar 2.6 Radial Ball Bearing 9
Gambar 2.7 Dimensi dasar ulir penggerak 14
Gambar 2.8 Konstruksi ulir penggerak 16
Gambar 2.9 Roda gigi lurus 18
Gambar 2.10 Ukuran – ukuran dasar external gear 20
Gambar 2.11 Gaya yang terjadi pada gigi diteruskan ke bearing dan poros 21
Gambar 2.12 Kurva Faktor dinamis (Kv) 23
Gambar 2.13 Kurva faktor geometris (J), sudut kontak 20º roda gigi lurus 24
Gambar 2.14 Kurva faktor geometris (J), sudut kontak 25º roda gigi lurus 24
Gambar 2. 15 Proses Gerinda Silindris Pemakanan Radial 28
Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Pembuatan Mesin ECG 29
Gambar 3.2 Sketsa Mesin ECG 30
Gambar 3.3 Desain Mesin ECG 31
Gambar 3.4 Kerangka Bagian Atas 32
Gambar 3.5 Akuarium Akrilik Bekas 33
Gambar 3.6 Metal Bonded Grinding Wheel Tampak Atas 34
Gambar 3.7 Metal Bonded Grinding Wheel Tampak Samping.....34
Gambar 3.8 Poros 35
Gambar 3.9 Larutan Elektrolit NaOH 35
Gambar 3.10 Pompa Air Mini 36
Gambar 3.11 Benda kerja.....36
Gambar 3.12 Dimensi benda kerja 37
Gambar 3.13 Power Supply 24 v 37

Gambar 3.14 Drill Tangan 38
Gambar 3.15 Roda Gigi 38
Gambar 3.16 Motor DC 39
Gambar 3.17 Asembli Mesin ECG 39
Gambar 3.18 Pemotongan Plat 40
Gambar 3.19 Penyangga Mesin.....41
Gambar 3.20 Rel 42
Gambar 3.21 Plat Siku 42
Gambar 3.22 Bearing ..... .43
Gambar 3.23 Membuat Dudukan Bearing 43
Gambar 3.24 Ulir penggerak 44
Gambar 3.25 Sambungan Kerangka Atas dan Ulir 44
Gambar 3.26 Pemasangan Kaki Mesin 45
Gambar 4.1 Desain Kerangka Atas 47
Gambar 4.2 Free Body Diagram 48
Gambar 4.3 Dimensi poros metal-bonded grinding wheel 52
Gambar 4.4 Dimensi metal-bonded grinding wheel 53
Gambar 4.5 Arah Gaya Makan 54
Gambar 4.6 Skema tegangan torsi pada poros 56
Gambar 4.7 Gambar ulir segitiga 59
Gambar 4.8 Proses gerinda silindris 64
Gambar 4.9 Hasil penggerindaan konvensional 66
Gambar 4.10 Hasil pengujian proses ECG 67
Gambar 4.11 Perbandingan Hasil Penggerindaan 68

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Harga rata-rat koefisien gesek pada bearing 11
Tabel 2.2 Ball bearing service factors, F_s 13
Tabel 2.3 Faktor koreksi beban lebih K_o 22
Tabel 2.4 Faktor koreksi distribusi beban, K_m 23
Tabel 2.5 Tegangan ijin material $|\sigma_b|$ 25

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemesinan non konvensional berkembang pesat baik dalam lingkungan industri maupun di lingkungan pendidikan. Termasuk di Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi Institut, Teknologi Sepuluh Nopember yang sudah memiliki mesin – mesin non konvensional seperti : Electro Discharge Machining (EDM), Water Jet Machining, Plasma Arc Machining, dan Electrochemical Grinding (ECG).

Salah satu contoh dalam penggunaan mesin Electrochemical Machining adalah Electrochemical Grinding. Cara kerja proses ECM yaitu melakukan proses penggerindaan benda kerja dengan batu gerinda dengan gerak mekanis partikel abrasif dengan bahan bersifat konduktor dan reaksi elektrokimia secara bersamaan.

Dalam tugas akhir sebelumnya oleh Tito Bagaswara dengan judul "Rancang Bangun Mesin Electrochemical Grinding dengan Kapasitas 100 mm^3/min" telah dibuat mesin ECG namun memiliki kekurangan, yaitu pada proses gerak mata gerinda yang sangat terbatas hanya mampu bergerak secara z axis. Dari hal tersebut maka, penelitian ini dibuat untuk menyempurnakan sistem gerak mata gerinda pada mesin Electrochemical Grinding agar dapat melakukan pekerjaan yang lebih membutuhkan kepresisian. Sistem gerak akan bergerak secara sumbu x, y dan z. Untuk bergerak arah sumbu x dan y akan dipasang motor sehingga bergerak secara manual, sedangkan untuk sumbu z digerakkan secara manual dengan tangan manusia.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana memodifikasi mesin ECG yang sudah ada dengan menambahkan motor dan komponen yang ada di laboratorium Pemesinan non konvensioanl (PNK) Teknik Mesin Industri ITS.

2. Bagaimana menghitung daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan pahat gerinda.
3. Bagaimana menambah arah gerak meja mesin ECG dengan menggunakan motor.

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 Teknik Mesin Industri.
2. Mengetahui Daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan pahat gerinda.
3. Menambah arah gerak meja dari ECG yang sudah ada sebelumnya.

a. Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

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. Motor yang digunakan untuk menggerakkan pahat ke sumbu x dan y menggunakan motor dc power windows 24 volt.
2. Tool yang digunakan adalah *metal-bonded diamond wheel* dengan model 12A2 dan diameter 100 mm dengan 24 segmen pada partikel abrasifnya.
3. Tegangan yang digunakan 24 volt untuk motor penggerak pahat dan meja.
4. Putaran motor penggerak pahat yang digunakan 3000 rpm.
5. Bahan benda kerja yang digunakan adalah aluminium.

6. Kekuatan Las dianggap aman.
7. Getaran pada mesin tidak dihitung.

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, perhitungan safety factor poros, roda gigi, bearing.

BAB III METODOLOGI

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

BAB IV PERENCANAAN DAN PERHITUNGAN

Pada bab ini berisi tentang perhitungan perencanaan struktur, dan sistem gerak pada mesin ECG.

BAB V PEMBUATAN DAN PENGUJIAN

Pada bab ini berisi proses pembuatan dan pengujian dari mesin ECG yang telah dibuat. Berisi kendala – kendala yang terjadi pada saat pengujian dan kelemahan yang ada pada mesin ECG.

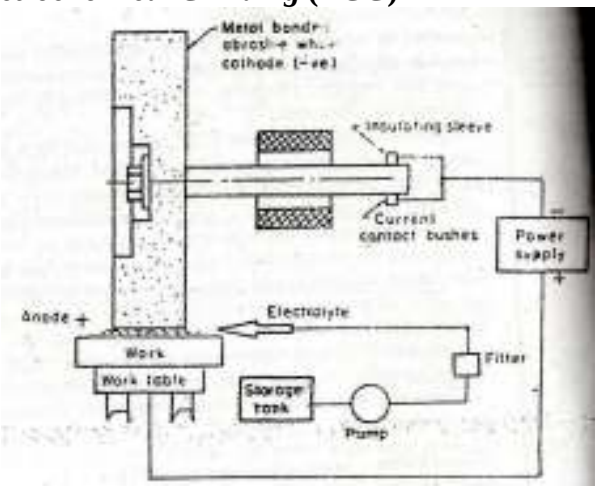
BAB VI PENUTUP

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

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II
DASAR TEORI

2.1 Electrochemical Grinding (ECG)



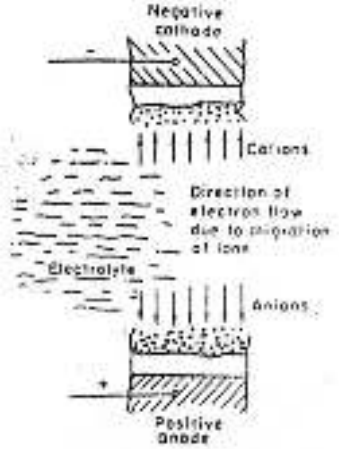
Gambar 2.1 Skema Proses ECG
(3, hal 77)

Menurut P.C Pandey dan H.S Shan pada buku Modern Machining Processes, Electrochemical Grinding merupakan sebuah proses yang menggunakan batu gerinda dengan partikel abrasif yang digunakan sebagai bahan pengikat konduktor. Daya D.C terhubung ke bagian dan ikatan konduktif batu gerinda sehingga bersifat negatif terhadap komponen batu gerinda. Partikel abrasif memiliki dua fungsi yaitu : (1) insulator antara katoda dan benda kerja, dan (2) membuang hasil elektrolisa benda kerja secara mekanis. Digunakan larutan elektrolit pada tahap Electrochemical Machining. Arus listrik yang digunakan antara 1-3 A/mm^3. Dan sebagian besar Metal Removal Rate pada ECG terjadi pada proses elektrolisa dan sekitar 5% proses penggerindaan mekanis. Oleh sebab itu keuasan pahat sangat

kecil, dan benda kerja tetap dingin.

2.1.1 Proses ECM

ECM merupakan kebalikan dari *electroplating.* Yaitu saat dua elektroda dengan arus listrik DC ditempatkan pada wadah yang berisi larutan elektrolit maka logam dari anoda akan melapisi katoda. Sehingga pada ECM, *Tool* bertindak sebagai katoda, benda kerja bertindak sebagi anoda.



Gambar 2.2 Lintasan Elektrolit pada ECM
(3, hal 61)

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:

$M^+ + e^- \rightarrow M$ (logam)

$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$ (pembentukan H_2)

Reaksi yang terjadi pada anoda:

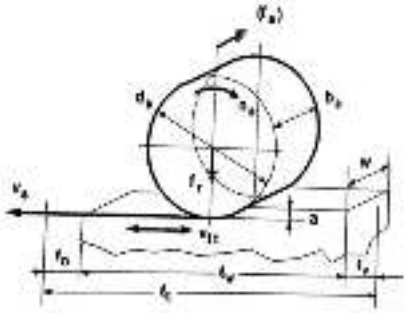
$M \rightarrow M^+ + e^-$ (pelarutan logam)

$2H_20 \rightarrow 0_2 + 4H^+ + 4e^-$ (oksidasi)

$2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$ (pembentukan gas halogen)

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 pemesinan menjadi lebih halus.

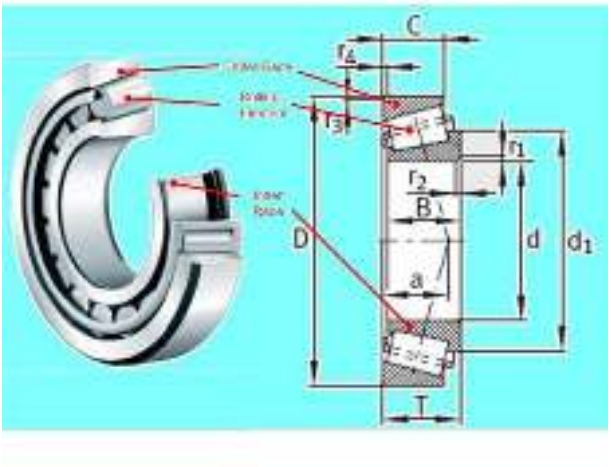


Gambar 2.3 Skema Penggerindaan
(5, hal 60)

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

2.2 Bearing

Bearing atau bantalan adalah elemen mesin yang berfungsi untuk menumpu poros, supaya putaran atau gerakan poros dapat berlangsung dengan baik dan aman, juga untuk memperkecil kerugian daya akibat gesekan. Bearing harus kuat dan kokoh untuk menahan gaya yang terjadi pada poros. Jika bearing tidak berfungsi dengan baik maka kerja seluruh sistem akan menurun atau mesintidak dapat bekerja sebagaimana semestinya. Konstruksi bearing dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Konstruksi Bearing
(Sumber : https://www.brighthubengineering.com/machine-design/27400-types-of-bearings-tapered-roller-bearings/)

2.2.1 Klasifikasi *Bearing*

Bearing secara garis besarnya dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu : Journal Bearing dan Rolling Bearing.

1. **Rolling Bearing (Bantalan Gelinding)**
   Pada bearing ini terjadi gesekan gelinding antara bagian yang berputar dengan bagian yang diam pada bearing, bagian yang berputar tersebut adalah : bola, silinder dan jarum, antara poros dan bearing tidak terjadi gesekan.

Gambar 2.5 Rolling bearing (rolling bearing)
(Sumber : http://www.directindustry.com)

Gambar 2.6 Radial Ball Bearing
(Sumber : http://www.directindustry.com/prod/ntn-snr/product-8884-968763.html)

1.2.1.1 Macam – Macam Rolling Bearing

1. **Radial Ball Bearing (bantalan gelinding bola radial)**
   - Deep Groove Ball Bearing

Semula bearing ini dimaksudkan untuk menahan beban radial, tetapi dengan adanya alur yang dalam, sehingga penempatan bolanya dapat lebih dalam, maka ternyata sanggup juga menerima beban aksial (thrust). Kemampuan menerima beban aksial dapat mencapai 70 % dari beban radialnya.

- Self Aligning Internal dan Self Aligning External Ball Bearing.

Bearing ini mempunyai kemampuan menyesuaikan diri bila terjadi ketidaksesuaian atau ketidaksenteran antara sumbu poros dengan sumbu bearing akibat adanya defleksi poros atau perubahan pondasi.

2. Angullar Contact Ball Bearing (bantalan gelinding bola radial kontak menyudut)

Bearing ini secara umum mempunyai dua kategori yaitu dengan kemampuan menerima beban aksial satu arah saja, dan kemampuan menerima beban aksial dua arah. (One directional and two directional angular contact ball bearing)

3. Thrust Ball Bearing (bantalan gelinding bola aksial).

- One directional flat race
- One directional grooved race

2.2.2 Prediksi Umur Bearing

2.2.2.1 Gesekan pada rolling bearing

Walaupun rolling bearing disebut bearing anti gesekan (anti friction bearing), tetapi karena adanya beban dan putaran, akan timbul gesekan antara komponen bearing, yaitu : ring luar, bola atau rol, dan ring dalamnya. Koefisien gesek (f) dapat dilihat pada tabel 2.1 yang didasarkan atas tipe bearingnya, serta kondisinya, dan koefisien gesek ini dihasilkan yang bertahun-tahun.

Tabel 2.1 Harga rata-rata koefisien gesek pada bearing

No	Tipe Bearing	Start		Selama Berputar	
		Radial	Aksial	Radial	Aksial
1	Ball Bearing	0,0025	0,0060	0,0015	0,0040
2	Spherical Roller Bearing	0,0030	0,1200	0,0018	0,0080
3	Cylindrical Roller Bearing	0,0020	---	0,0011	---

(6, hal 482)

Akibat adanya gesekan ini, akan menyebabkan kehilangan daya, secara, pendekatam kehilangan daya tersebut dapat dihitung dengan rumus : *(referensi 6 : 482)*

$$f_{HP} = \frac{T_f.n}{63.025} = \frac{f.F_r.d\ .n}{126.050} \qquad (2.1)$$

dimana : f_{HP} = Daya yang hilang karena gesekan, HP
T_f = Torsi akibat gesekan, lbf.in
F_r = Gaya radial pada bearing, lbf
f = Koefisien gesek (Tabel 1.1)

2.2.2.2 Prediksi Umur Bearing

Dengan asumsi putaran konstan, maka prediksi umur bearing (dinyatakan dalam jam) dapat ditulis dengan persamaan :

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P}\right)^b x\ \frac{10^6}{60.n} \qquad (2.2)$$

dimana : L_{10h} = Umur bearing, jam-kerja
C = Beban dinamis (dapat dilihat dari tabel), lbf
n = putaran poros, rpm
P = Beban Ekivalen (eqivalent load)

B = konstanta yang tergantung tipe beban. (b=3 untuk ball bearing dan b=3,33 untuk rolling bearing)

Sesuai dengan definisi dari AFBMA *(Anti Friction Bearing Manufactrurers Association)* yang dimaksud dengan beban equivalen adalah beban radial yang konstan yang bekerja pada bearing dengan ring dalam yang berputar/ring dalam yang berputar, yang akan memberikan umur yang sama, seperti bila bearing bekerja dengan kondisi nyata untuk beban dan putaran yang sama.

Dalam kenyataannya bearing biasanya menerima beban kombinasi antara beban radial dan beban aksial, serta pada kondisi ring dalam yang tetap sedangkan ring luarnya yang berputar. Sehingga persamaan beban equivalen (P) setelah adanya koreksi tersebut menjadi :

$$P = V.X.F_r + Y.F_a \qquad (2.3)$$

Dimana :

P = beban eqivalen (lbf)
Fr = beban radial (lbf)
Fa = beban aksial (lbf)
V = faktor putaran (konstan) bernilai :
= 1,0 untuk ring dalam berputar
= 1,2 untuk ring luar yang berputar
X = konstanta radial (dari tabel, dapat dilihat pada lampiran)
Y = konstanta aksial (dari tabel, dapat dilihat pada lampiran)

Cara memilih harga X dan Y dapat dilakukan dengan langkah – langkah sebagai berikut

1. Cari terlebih dahulu harga : i.Fa/Co
   i = jumlah deret bearing

2. Kemudian dari harga ini, ditarik garis ke kanan sampai pada kolom e, sehingga didapat harga e
3. Cari harga : Fa/(V.Fr), dan bandingkan dengan harga e, akan diperoleh kemungkinan : (Fa/(V.Fr) < e atau Fa/(V.Fr) = e atau Fa/(V.Fr) > e
4. Dari perbandingan harga tersebut, maka akan didapatkan harga X dan Y dari kolom : Fa/(V.Fr) ≤ e atau Fa/(V.Fr) > e, khusus untuk untuk deret satu (single row bearing), bila harga Fa/(V.Fr) ≤ e, maka X=1 dan Y=0
5. Dapat dibantu dengan Interpolasi atau Extrapolasi

Bila faktor beban kejut dimasukkan maka persmaan (2.3) akan menjadi :

$$P = F_s\,(V.X.F_r + Y.F_a) \qquad (2.4)$$

Dimana : Fs = konstanta kondisi beban , dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.2 Ball bearing service factors, F_s

No	Type of Service	Multiply calculated load by following factors	
		Ball Bearing	Roller Bearing
1	Uniform and steady load	1,0	1,0
2	Light shock load	1,5	1,5
3	Moderate shock load	2,0	2,0
4	Heavy shock load	2,5	2,5
5	Extreme and indefinite shock load	3,0	3,0

(6, hal : 490)

2.3 Ulir Penggerak

Ulir penggerak digunakan untuk meneruskan gerakan secara halus dan merata, disamping itu juga untuk menghasilkan gerakan

linier yang berasal dari gerakan rotasi (memutar). Kinematika ulir penggerak sama dengan baut dan mur, bedanya terletak pada bentuk geometrisnya. Ulir penggerak mempunyai geometris yang aplikasinya untuk menghasilkan gerakan oleh karena itu termasuk alat penggerak *(motion device)*, sedangkan mur-baut mempunyai geometris yang aplikasinya sebagai pengikat dua bagian benda.

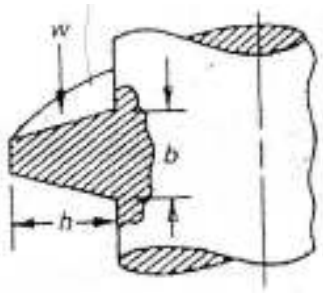
2.3.1 Tegangan pada Ulir Penggerak

Apabila ingin mengetahui kekuatan ulir penggerak maka perlu diadakan analisa terlebih dahulu terhadap macam – macam tegangan yang timbul pada ulir penggerak. Tegangan utama yang terjadi pada ulir penggerak di mesin ECG ini adalah :

1. Tegangan Bearing

Tegangan ini timbul antara permukaan ulir dengan permukaan ulir murnya, yang saling berhubungan. Besarnya tegangan bearingn ini dapat dirumuskan :

$$\sigma_B = \frac{W}{\pi \,.\, d_m .\, h \,.\, n} \qquad (2.5)$$



Gambar 2.7 Dimensi dasar ulir penggerak *(6)*

Dimana : σ_B = Tegangan bearing (psi)
W = beban (lbf)
Dm = diameter rata – rata ulir (in)
h = kedalaman ulir (in)
n = jenis atau jumlah ulir

2. Tegangan Bending

Beban W dianggap merata dan bekerja pada diameter rata – rata (d_m), yang berjarak 0,5 h dari kaki ulir. Sehingga dapat dianggap bagian yang diarsir pada gambar sebagai suatu batang sentilever yang pendek.

a. Momen bending maksimum

$$M = \frac{W \,.\, h}{2} \tag{2.6}$$

b. Tegangan Bending

$$\sigma_B = \frac{M \,.\, c}{I} \tag{2.7}$$

c. Momen Inersia

$$I = \frac{1}{12}\,(\pi.dm.n)b^3 \tag{2.8}$$

d. Momen Tahanan

$$\frac{I}{C} = \frac{\frac{1}{12}(\pi.dm.n)b^3}{0{,}5\ b} = \frac{(\pi.dm.n)b^2}{6} \tag{2.9}$$

Dari persamaan (2.7) dan (2.9) besarnya tegangan bending maksimum yang terjadi adalah :

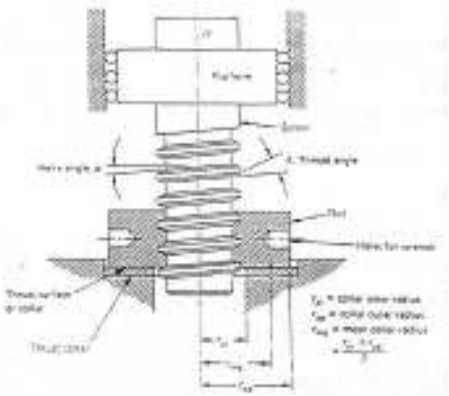
$$\sigma_B = \frac{M.c}{I} = \frac{M}{I/_c} = \frac{W.0{,}5h}{(\pi.dm.n)b^2/6}$$

$$\sigma_B = \frac{3.W.h}{(\pi.dm.n)b^2} \tag{2.10}$$

2.3.2 Torsi untuk Ulir Penggerak

Berikut ini adalah contoh ulir penggerak untuk dongkrak (screw jack). Platform bagian atas penyangga beban sebesar W. Plat form ini dibagian pinggirnya terdapat roller yang

menghubungkan dengan dinding sampingnya. Karena menahan beban, plat form dan batang ulirnya tidak dapat berotasi pada sumbunya, tetapi dapat bergeser naik dan turun tanpa gesekan karena ada roller.



Gambar 2.8 Konstruksi ulir penggerak
(6, hal : 754)

Bila gaya yang dipergunakan untuk memutar nut adalah f yang bekerja pada "mean diameter" (r_m) untuk melawan beban W tersebut, maka besarnya torsi yang diperlukan adalah :

$$T_R = F.r_m \tag{2.11}$$

Dimana : $F = F_f \cos\alpha + F_n \cos\theta_n \sin\alpha$

Dan $$F_n = \frac{W}{\cos\theta_n \cos\alpha - f_s \sin\alpha} \tag{2.12}$$

Jadi

$T_R = r_m \cos\alpha + F_n \cos\theta_n \sin\alpha$

Dimana : $F_f = f_s.F_n$

$$T_R = r_m(f_s . F_n \cos\alpha + F_n \cos\theta_n \sin\alpha) \quad (2.13)$$

2.4 Poros

2.4.1 Perhitungan Poros

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

$$\frac{0{,}5\, S_{yp}}{S_f} \geq \frac{16}{\pi\, d^3} \sqrt{{M_b}^2 + {T_p}^2} \quad (2.14)$$

Dimana :

S_{yp} = Strength yield point (Kgf/mm^2)
ds = diameter poros (mm)
Tp = torsi pada poros (Kgf.mm)
Mb = momen bending pada poros (Kgf.mm)
S_f = Faktor keamanan

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

$$T_p = 9{,}74 \,.\, 10^5 \, \frac{P_d}{n} \quad (2.15)$$

Dimana :

P_d = Daya desain (kW)

2.4.2 Daya Desain Poros

Daya desain dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$P_d = P \,.\, S_f \quad (2.16)$$

Dimana :

P = Beban daya yang diberikan (kW)

2.5 Roda Gigi

Roda gigi atau sering disebut *gear* merupakan elemen mesin yang dapat mentrasmisikan daya lebih besar, putaran yang lebih tinggi dan tepat bila dibandingkan dengan Belt dan Rantai. Dalam proses pembuatannya, pemasangannya dan perawatannya memerlukan ketelitian yang lebih tinggi.

2.5.1 Klasifikasi Roda Gigi

Berikut ini merupakan salah satu klasifikasi roda gigi yaitu :

1. Roda gigi lurus

Roda gigi lurus pada gambar 2.11 berfungsi untuk memberikan daya antara dua poros yang sejajar dengan sebuah perbandingan kecepatan sudut (angular) yang konstan. Roda gigi merupakan roda gigi paling dasar dengan jalur gigi yang sejajar poros, dimana roda gigi ini sejajar dengan poros dengan dua silinder atau bidang jarak bagi dan kedua bidang silinder bersinggungan dan berputar pada roda gigi yang lain dengan sumbu tetap sejajar.

Gambar 2.9 Roda gigi lurus
(4, hal 213)

2.5.2 Ukuran – ukuran Dasar Roda Gigi

Nama – nama bagian dan ukuran – ukuran yang penting pada *external gear* dapat dilihat pada gambar 2...

1. **Circular pitch** / jarak bagi lingkaran (p) : didefinisikan sebagai jarak gigi yang diukur pada pitch circle, yaitu jarak satu titik pada gigi sampai titik pada gigi berikutnya pada kedudukan yang sama. Circular pitch ini diperlukan agar gigi dalam satu roda gigi mempunyai besar yang sama, sehingga besarnya circular pitch dapat dinyatakan dengan keliling lingkaran dibagi dengan jumlah gigi.

$$p = \frac{\pi .d}{N_t} \qquad (2.17)$$

Dimana : d = diameter pitch
Nt = jumlah gigi

2. **Diametral Pitch** (D_{tp}). Didefinisikan sebagai jumlah gigi (N_t) pada roda gigi dibagi dengan diameter pitch circle – nya (d).

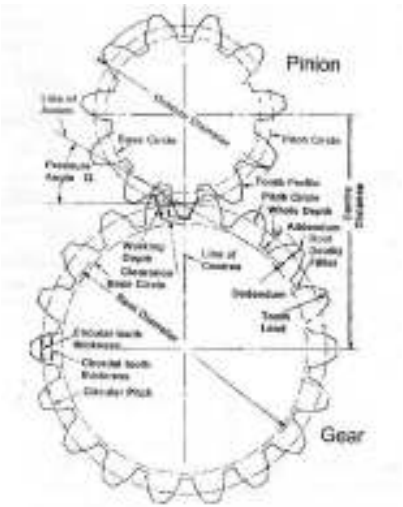
$$D_{tp} = \frac{N_t}{d} \qquad (2.18)$$

Hubungan antara D_{tp} dengan p dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$p = \frac{\pi .d}{N_t} = \pi . \frac{1}{D_{tp}} = \frac{\pi}{D_{tp}} \qquad (2.19)$$

Atau $\pi = p \, . D_{tp}$

Dimana : N_t = jumlah gigi
d = diameter pitch circle



Gambar 2.10 Ukuran – ukuran dasar external gear *(6)*

2.5.3 Beban Pada Roda Gigi

Beban atau gaya pada roda gigi dapat diketahui dari besarnya torsi yang ditransmisikan oleh karena itu perlu diketahui terlebih dahulu besarnya torsi. Torsi yang ditransmisikan dari roda gigi (1) ke roda gigi (2) dapat dinyatakan dengan persamaan di bawah ini (*referensi 8 :180)*

$$T = 63.025 \frac{P}{n} \qquad (2.20)$$

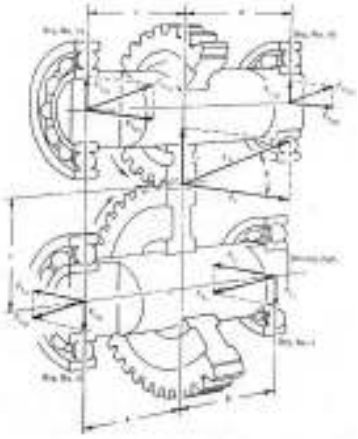
Dimana : P = daya yang ditransmisikan (HP)
T = Torsi yang ditransmisikan (lbf.ft)

Gaya yang bekerja pada pasangan roda gigi adalah gaya normal (F_n) Gaya normal ini dapat diuraikan menjadi 2 komponen, yaitu :

Gaya Tangensial, $F_t = F_n \, . \, Cos\, \theta$

Gaya Radial, $F_r = F_n . Sin\ \theta = F_t . tan\ \theta$

Gaya dan torsi yang bekerja tersebut akan diteruskan ke bearing dan poros, seperti terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.11 Gaya yang terjadi pada gigi diteruskan ke bearing dan poros (*6, Hal : 541)*

Berikut ini akan diuraikan analisis besarnya tegangan yang terjadi pada gigi. Gigi dapat dipandang sebagai batang terjepit dengan bagian BD yang tetap

2.5.4 Persamaan AGMA

Persamaan AGMA *(American Gear Manufacture)* merupakan modifikasi dari persamaan lewis. Persamaan ini khusus dipakai dalam perencanaan, dalam persamaan ini akan dimasukkan faktor dan faktor koreksi, seperti : faktor dinamis, faktor bentuk, faktor koreksi beban lebih dan sebagainya.

$$\sigma_b = \frac{F_t.K_o.D_{tp}.K_s.K_m}{K_v.b.J} \qquad (2.21)$$

Dimana : σ_b = tegangan yang terjadi pada kaki gigi (psi)
F_t = Beban atau gaya yang ditransmisikan (lbf)
K_o = faktor koreksi beban lebih
K_s = faktor koreksi ukuran
K_m = koreksi distribusi beban
K_v = faktor dinamis
J = faktor bentuk/geometri
b = lebar gigi (in)
D_{tp} = diametral pitch (in^{-1})

Faktor koreksi beban lebih (K_o) diberikan karena dalam kenyataannya F_t adalah beban rata – rata yang ditransmisikan, sedangkan beban maksimumnya bisa dua kali lipat bila terjadi beban kejut (Shock). Besarnya K_o dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2.3 Faktor koreksi beban lebih **K_o**

Power Source	Load on Driven Machine		
	Uniform	Moderate Shock	Heavy Shock
Uniform	1,00	1,25	1,75 or higher
Moderate Shock	1,25	1,50	2,00 or higher
Heavy Shock	1,50	1,75	2,25 or higher

(6 , hal 555)

Faktor koreksi ukuran K_s merupakan fungsi dari : ukuran – ukuran gigi. Untuk roda gigi lurus K_s diberi harga 1 karena ukuran – ukuran gigi dan heat treatment dianggap sesuai.

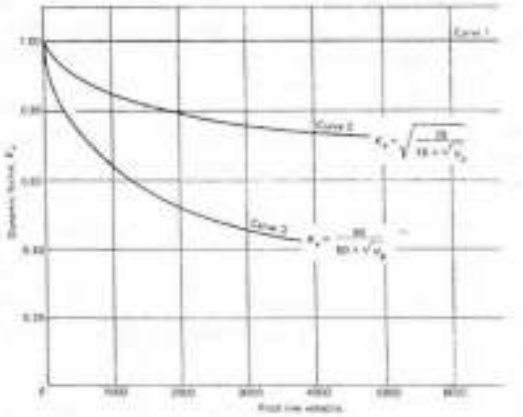
Nilai koreksi distribusi beban (K_m) dicari pada tabel 2.3 berdasarkan kondisi dudukan (misal ketidaksenteran) dan lebar gigi maka nilai K_m dapat ditentukan. Bila kondisi dudukan tidak diketahui maka bisa direncanakan dan diestimasikan.

Tabel 2.4 Faktor koreksi distribusi beban, K_m

Condition of Support	Face Width							
	2 in face and under		6 in face		9 in face		16 in Face and under	
	Spur	Helical	Spur	Helical	Spur	Helical	Spur	Helical
Accurate mounting, low bearing clearance minimum elastic deflection precision gear	1.3	1.2	1.4	1.3	1.5	1.4	1.8	1.7
Less rigid mountings, less accurate gears, contact across full face	1.6	1.5	1.7	1.6	1.8	1.7	2.0	2.0
Accuracy and mounting such that less full face contact exists	Over 2.0							

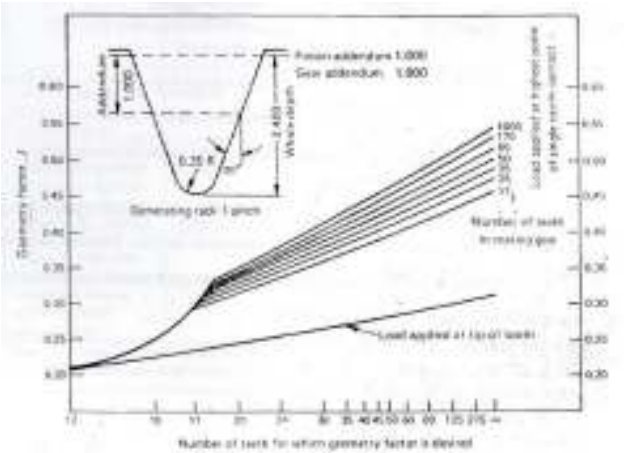
(6 , hal 555)

Nilai faktor dinamis (Kv) dipengaruhi oleh efek dari jarak gigi dan kesalahan bentuk, efek kecepatan pitch dan putaran permenit inersia dan kekakuan dari bagian – bagian yang berputar, besarnya beban yang didistribusikan per inch permukaan kekauan gigi.

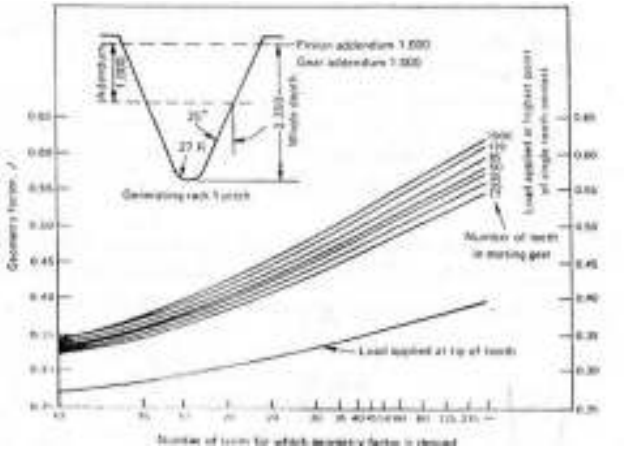


Gambar 2.12 Kurva Faktor dinamis (Kv)
(6, hal 556)

Nilai faktor bentuk / geometri (J) dipengaruhi oleh : permukaan gigi, posisi letak beban yang merugikan, konsentrasi tegangan dan beban gesek yang terjadi pada sepasang gigi atau lebih.



Gambar 2.13 Kurva faktor geometris (J), sudut kontak 20º roda gigi lurus *(6, hal 557)*



Gambar 2.14 Kurva faktor geometris (J), sudut kontak 25º roda gigi lurus *(6, hal 558)*

Selanjutnya persamaan AGMA akan dibandingkan dengan tegangan ijin maksimum perencanaan :

$$|\sigma_b| = \frac{|\sigma_b| .K_L}{K_T.\ K_R} \qquad (2.22)$$

Dimana :

$|\sigma_b|$ = tegangan ijin maksimum perencanaan (psi)

$|\sigma_b|$ = tegangan bending fatigue ijin material (psi)

K_L = faktor umur

K_T = faktor temperatur

K_R = faktor keamanan

Tabel 2.5 Tegangan ijin material $|\sigma_b|$ *(6)*

Material	Heat Treatment	Min Material Hardness or Min Tensile Strength	Sat, kpsi: Spur,Helical, Herringbone	Sat, kpsi: Bevel
Steel	Normalized	140 BHN	19 - 25	11
	Quenched and tempered	180 BHN	25 - 33	14
	Quenched and tempered	300 BHN	36 - 47	19
	Quenched and tempered	400 BHN	44 - 59	25
	Case carburized	55 Rc	55 - 65	27,5
	Case carburized	60 Rc	65 - 70	30
	Introduction or flame Hardned, hardenss Pattern A of footnote 1	54 Rc	45 - 55 *	
	Hardness Pattern of footnote 1	54 Rc at Hardness surface	22	13,5
	Nitrided AISI 4140	51 Rc case ** 300 BHN core	37 - 42 *	20
Cast Iron				
AGMA Grade 20			5	2,7
AGMA Grade 30		175 BHN	8,5	4,6
AGMA Grade 40		200 BHN	11	7
Nodular Iron				
ASTM Grade 60-40-18	Annealed		15	8
ASTM Grade 80-55-06			20	11
ASTM Grade 100-70-03	Normalized		26	14
ASTM Grade 120-90-02	Quenched and tempered		30	18,5
Bronze AGMA 2c (10%-12% Tin)		40 kpsi	5,5	3
Aluminium Bronze ASTM B-148-52 Alloy 9C-HT.		90 kpsi	23,6	12

Note : *) Values for teeth 6 DP and finer

**) For heavy gear these hardness will be lower, hence, lower of allowable stress should be used

2.6 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 spindel ke tool.

2.6.1 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.

$$P_{total} = P_1 + P_2 \quad (2.23)$$

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 :

$$P_1 = T \,.\, \omega \quad (2.24)$$

Dimana :

T = Momen torsi (Kg.mm)

ω = kecepatan sudut (rpm)

Momen torsi dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$T = I \,.\, \alpha \quad (2.25)$$

Dimana :

I = Momen inersia ($Kg.m^2$)

α = Percepatan sudut (rad/s^2)

Karena tool berbentuk silinder dengan poros sejajar sumbu maka momen inersia dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$I = \frac{1}{2} . m . r^2 \quad (2.26)$$

Dimana :
m = massa tool (Kg)
r = jari – jari tool (m)

Percepatan sudut dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\alpha = \frac{\omega - \omega'}{\Delta_t} \quad (2.27)$$

Dimana :
ω = Kecepatan sudut akhir (rad/s)
ω' = Kecepatan sudut mula (rad/s)
Δ_t = waktu dari keadaan diam hingga berputar (s)

Percepatan sudut dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\omega = \frac{2 . \pi . n}{60} \quad (2.28)$$

Daya penggerindaan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$P_2 = \frac{F . L . \omega}{1000} \quad (2.29)$$

Dimana :
F = gaya penggerindaan (N)
L = Kedalaman potong (mm)

2.7 Perhitungan Gerinda Silindris

Penggerindaan dilakukan dengan cara *cylindrical Grinding*, dengan rumus secara matematik, tebal geram ekuivalen ini didefinisikan sebagai berikut :

$$h_{eq} = \frac{Z\prime}{V_s} \qquad (2.30)$$

Dimana :

h_{eq} = tebal geram ekuivalen (μm)

Z' = kecepatan penghasilan geram per lebar aktif batu gerinda (mm^3/s)

V_s = kecepatan periferal (tangensial) batu gerinda (m/s)

Sehingga :

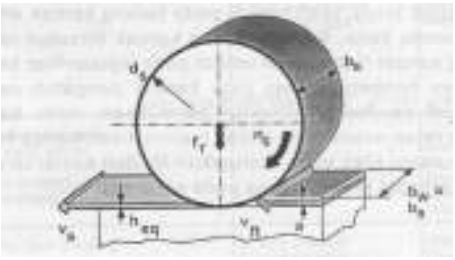
$$h_{eq} = \frac{Z\prime}{V_s} = \frac{f_r . V_{ft}}{V_s} \qquad (2.31)$$

Dimana :

f_r = a = gerak makan radial, kedalaman penggerindaan (mm/langkah)

V_s = kecepatan periferal batu gerinda (m/s)

$V_{ft} = V_w$ = kecepatan makan tangensial, kecepatan translasi benda kerja (mm/s)

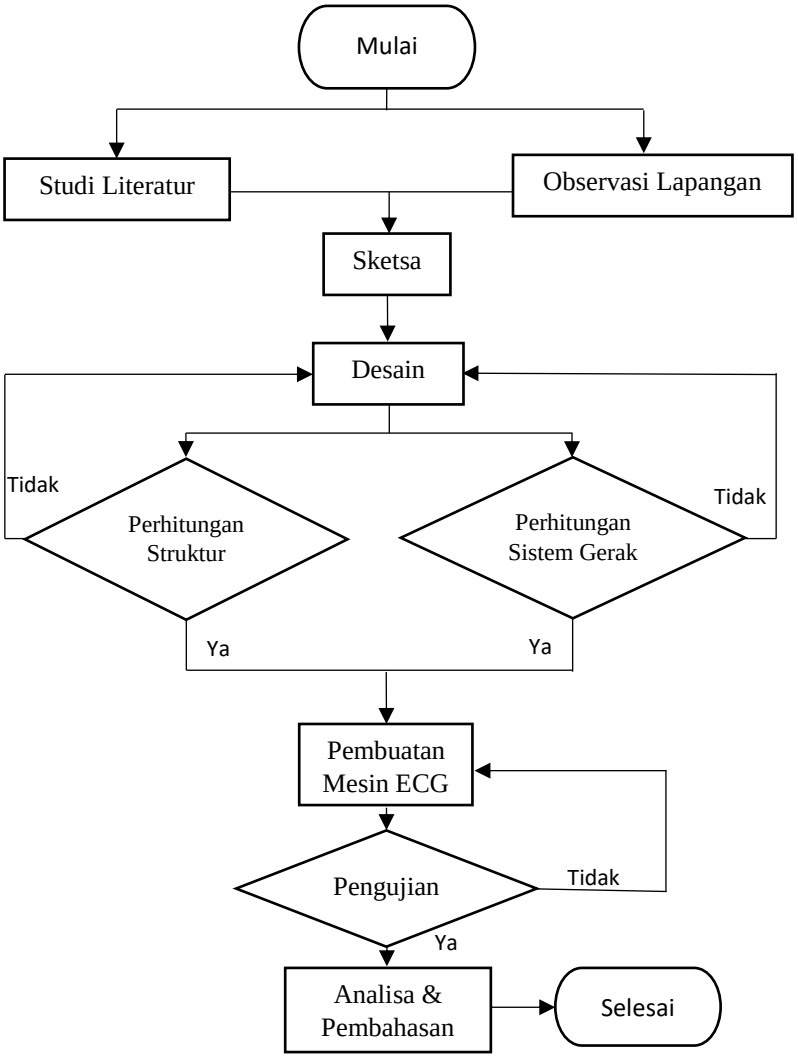


Gambar 2.15 Proses gerinda silindris pemakanan radial *(5, hal 60)*

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

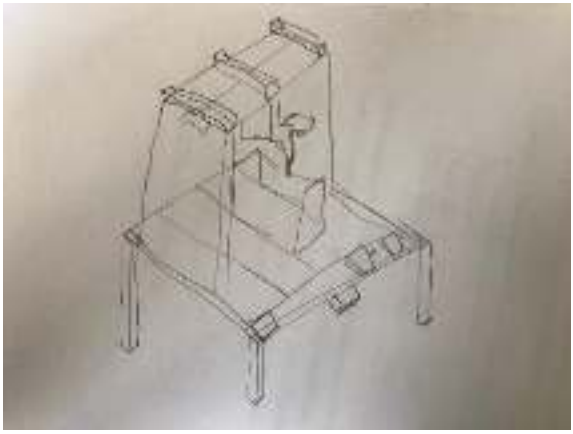
Pada tahap studi literatur ini dilakukan pencarian literasi tentang ECG. Tentang prinsip dasar proses ECG, parameter – parameter yang digunakan pada ECG, variabel – variabel pada mesin ECG, dan permasalahan yang ada pada mesin ECG.

2) Observasi Lapangan

Pada tahap ini dilakukan pengamatan dan pencatatan data – data yang sistematis terhadap mesin ECG yang ada di lab. Pemesinan Non Konvensional D3 Teknik Mesin Industri ITS dan juga pencarian di internet. Pada tahap ini digunakan untuk membandingkan data yang di lapangan dengan yang ada secara teoritis.

3) Sketsa

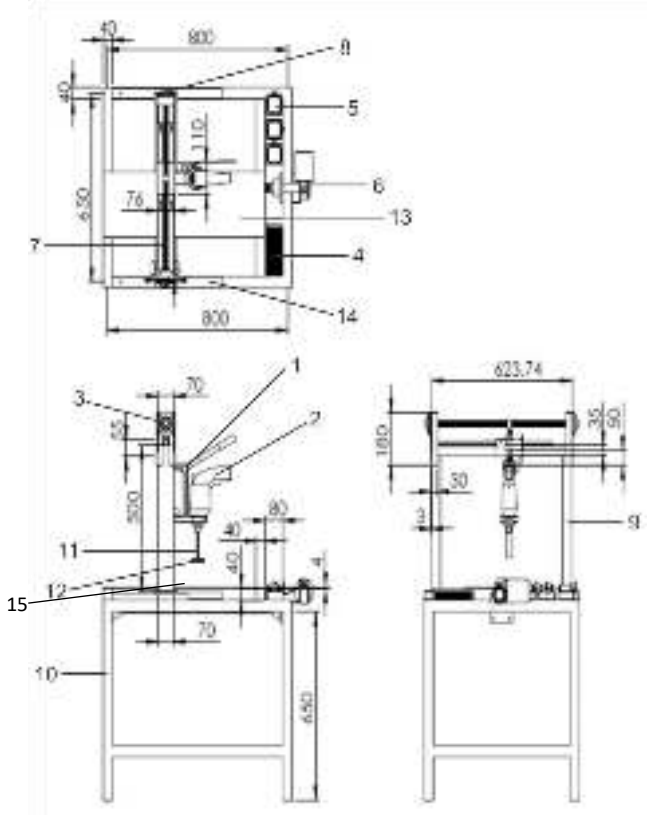
Pada tahap sketsa, sebelum merancang mesin ECG dilakukan terlebih dahulu membuat gambar ringan yang berupa garis – garis pada kertas guna meminimalkan kesalahan pada pembuatan.



Gambar 3.2 Sketsa Mesin ECG

4) Desain

Mesin akan didesain dengan kapasitas 1000 mm^3/min. Maka ada beberapa hal yang akan didesain dan dilakukan perhitungan.



Gambar 3.3 Desain Mesin ECG

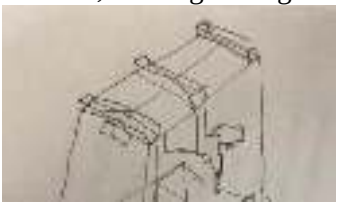
Keterangan :

1. Hand drill stand
2. Hand drill
3. Bearing
4. Power supply 24 volt
5. Saklar

6. Motor DC power windows 24 V bagian bawah
7. Ulir penggerak atas
8. Motor DC power windows 24 v bagian atas
9. Stainless steel
10. Besi holo 4x4 cm
11. Poros
12. *Metal-Bonded Grinding wheel*
13. Plat
14. Rel
15. Ulir penggerak bawah

5) Perhitungan Struktur

Pada proses ini akan dihitung semua gaya – gaya yang ada pada titik kritis di bagian benda yang menggantung *(overhang)*. Seperti pada gambar di bawah, merupakan bagian yang paling kritis saat menerima beban, dan bagian-bagian elemen mesin.



Gambar 3.4 Kerangka bagian atas

6) Perhitungan Sistem Gerak

Pada tahap ini dilakukan perhitungan dalam sistem gerak mesin antara lain sistem gerak mesin pemegang pahat atau tool, sistem gerak meja mesin arah sumbu x dan juga sistem gerak mesin ke arah sumbu y dimana semuanya digerakkan menggunakan motor listrik. Dan setelah proses perhitungan maka akan dilakukan pemilihan motor.

7) 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.

7.1 Komponen – Komponen Pembuatan Mesin ECG

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

7.1.1 Aquarium

Gambar 3.5 Aquarium akrilik bekas

Aquarium ini digunakan sebagai wadah atau penampungan larutan elektrolit agar tidak menyebar kemana – mana. Dan di dalamnya dipasang ragum dan merupakan salah satu komponen yang ada di laboratorium PNK D3 Teknik Mesin Industri ITS.

7.1.2 *Metal-Bonded Grinding Wheel*

Gambar 3.6 *Metal-Bonded Grinding Wheel* tampak atas

Gambar 3.7 *Metal-Bonded Grinding Wheel* tampak samping

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

7.1.3 Poros

Gambar 3.8 Poros

Poros yang digunakan adalah poros ulir M 16, karena menyesuaikan lubang tengah pada tool atau pahat. Salah satu sisinya dilakukan pengurangan dimensi menjadi 10 mm untuk mempermudah pencekaman oleh spindel pada motor. Di tengah poros terdapat bearing untuk mempermudah mengalirkan arus listrik dari mesin las portable menuju pahat.

7.1.4 Larutan Elektrolit

Gambar 3.9 Larutan Elektrolit NaOH

Larutan Elektrolit yang digunakan dalam percobaan yaitu larutan NaOH.

7.1.5 Pompa

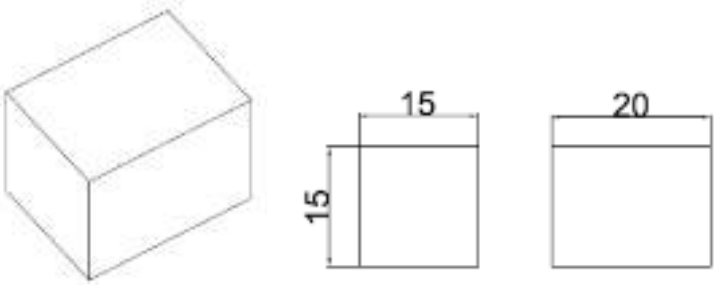
Gambar 3.10 Pompa air mini

Pompa digunakan untuk menyemprotkan 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.

7.1.6 Benda Kerja

Gambar 3.11 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.



Gambar 3.12 Dimensi benda kerja

7.1.7 Power Supply

Gambar 3.13 Power Supply 24 v

Power Supply yang digunakan adalah power supply dengan tegangan maksimum 24 volt. Karena motor penggerak meja dan penggerak tool yang digunakan memiliki tegangan sebesar 24 volt.

7.1.8 Motor Penggerak Poros

Gambar 3.14 Drill tangan

Menurut perhitungan dibutuhkan motor penggerak dengan daya minimal 0,229 HP. Motor penggerak yang digunakan adalah mesin drill tangan dengan putaran maksimum mencapai 3000 rpm. Dan diletakkan pada hand stand drill.

7.1.9 Roda Gigi

Gambar 3.15 Roda Gigi

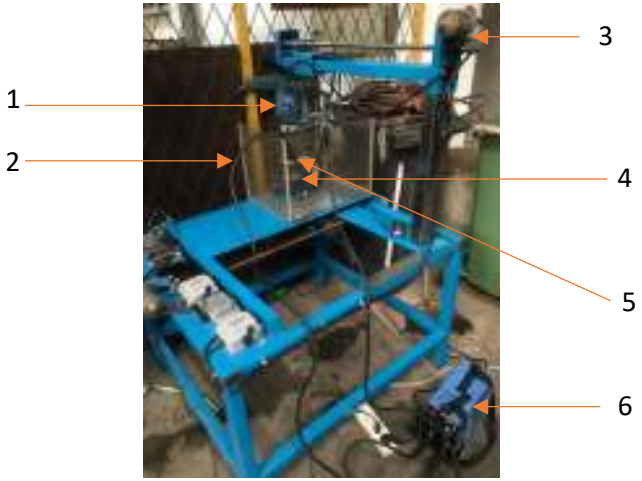
Roda gigi ini pada gearnya memiliki jumlah gigi sebanyak 8, sedangnkan untuk pinionnya memiliki jumlah gigi sebanyak 12.

7.1.10 Motor DC

Gambar 3.16 Motor DC

Motor DC ini menggunakan motor power windows mobil dengan tegangan 24 volt dan memiliki putaran sebesar 100 rpm.

1.2 Assembli Mesin ECG



Gambar 3.17 Asembli Mesin ECG

Keterangan :

1. Hand drill
2. Akuarium
3. Motor DC
4. Ragum
5. Mata Gerinda
6. Mesin las portable

7.2.1 Proses Pembuatan mesin ECG

Cara pembuatan alat ECG ini adalah sebagai berikut :

1. Potong besi hollow Stainless Steel 8x4 ukuran 82 cm menjadi 2 bagian dengan gerinda tangan. Lalu potong plat menjadi 2. Pertama ukuran 57 cm x 12 cm digunakan sebagai penyangga hand drill. Kedua 135cm x 30cm sebagai alas akuarium

Gambar 3.18 Pemotongan Plat

2. Kemudian Potong besi hollow 4x4 dengan panjang 72 cm sebanyak 2 buah, dan yang satunya panjang 69 cm sebanyak 4 buah. Lalu dilas. Dan jadilah kerangka bagian atas
3. Satukan kerangka penyangga atas dengan rel menggunakan sekrup.
4. Buatlah plat dudukan dengan ukuran 8,5cm x 8,5cm untuk pillow block (bearing) menggunakan sisa plat tadi. Kemudian satukan menggunakan baut M10.
5. Pasang ulir penggerak M 16 pada bearing (pilowblock) dan dudukannya tadi.
6. Kemudian masukkan ke dalam lubang yang telah dibuat pada kerangka bawah. Setelah pas kemudian lakukan

pengelasan. Kemudian satukan kerangka bawah dengan kerangka penyangga atas dengan sekrup pada bagian relnya. Seperti pada gambar dibawah yang ditandai lingkaran merah.

Gambar 3.19 Penyangga Mesin

7. Pada bagian frame atas pasang rel ukuran 35 cm untuk lintasan gerak batu gerinda ke arah sumbu y.

Gambar 3.20 Rel

8. Untuk sistem penggerak pada bagian atas untuk dudukan bearing dengan menggunakan plat siku.

Gambar 3.21 Plat Siku

Gambar 3.22 Bearing (pillow block)

9. Potong plat siku membentuk dimensi yang sesuai penyangga atas dengan panjang 18cm dan lebar 8cm. Kemudian satukan dengan baut dan mur diameter 10mm.

Gambar 3.23 Membuat dudukan bearing

10. Setelah itu, pasang ulir penggerak pada pillow block (bearing). Jangan lupa memasang mur pada ulir.

Gambar 3.24 Ulir penggerak

11. Potong Plat untuk tempat menempelnya dudukan hand drill dengan ukuran 10,5cm x 15cm. Agar mengurangi getaran dan agar hand drill tidak goyang saat bergerak maka plat dipasang bearing dengan diameter 8mm.
12. Dudukan mesin bor dipasang pada kerangka tadi dengan proses dilas.

13. Untuk menyambung frame atas ataupun bawah dengan ulir maka baut yang tadi berada di tengah ulir dilas pada plat

Gambar 3.25 Sambungan kerangka atas dan Ulir

14. Dengan membuat tempat pada bagian atas dan juga dipasang kaki – kaki di bagian bawah untuk penopang mesin.

Gambar 3.26 Pemasangan kaki mesin

15. Pada bagian akhir, dilakukan finishing alat dengan proses pengecatan pada seluruh kerangka mesin.

8) Pengujian

Pengujuan mesin dilakukan dengan cara plunge grinding. Pertama dilakukan proses penggerindaan konvensional selama kurang lebih 1 menit. Kemudian dilakukan pengukuran dimensi untuk mendapatkan kedalaman makan.

9) Analisa dan Pembahasan

Pada tahap ini data yang diperoleh dari pengujian mesin ECG dilakukan analisa dan pembahasan untuk mendapatkan MRR dari proses penggerindan konvensional.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB IV
PERENCANAAN DAN PENGUJIAN

4.1 Perhitungan Struktur

Berikut ini adalah bagian yang paling banyak terkena gaya atau bagian yang paling kritis menerima beban pada saat dilakukan proses pemesinan.

Gambar 4.1 Desain kerangka atas

Dari gambar 4.1 dapat dihitung gaya – gaya yang terjadi

Diketahui : N = 300 W = 0,402 HP (motor gerak meja)

n = 100 rpm

sudut kontak = 20º

d = 16 mm

m_{rangka} = 11 kg

m_{bor} = 5 kg

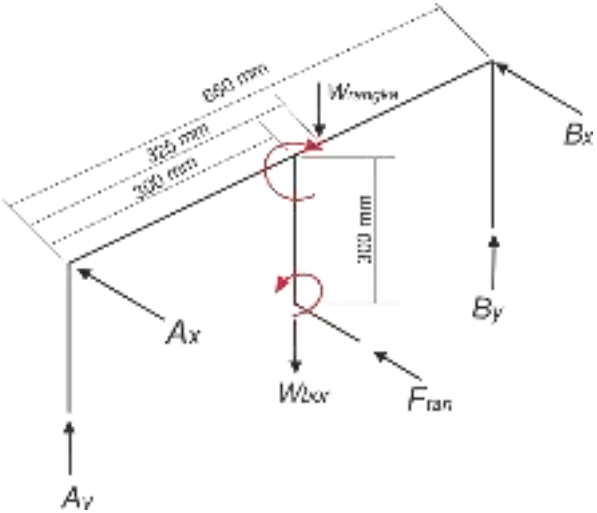
$W_{rangka} = m\ x\ g$

$=11\ kg\ x\ 9{,}81 \frac{m}{s^2} = 107{,}91$ N

$W_{bor} = m\ x\ g$

$=5\ kg\ x\ 9{,}81 \frac{m}{s^2} = 49{,}05$ N

Di bawah ini merupakan *free body diagram* dari kerangka bagian atas dari mesin ECG :



Gambar 4.2 Free Body Diagram

Menghitung torsi :

$$T = 71620\ \frac{N}{n}$$

$$T = 71620\ \frac{0.402}{100}$$

$$T = 71620\ \frac{0.402}{100}$$

$$T = 289{,}912\ kgf.cm$$

Mencari Nilai F tan (gaya makan) :
Konversi daya = 0,402 HP x 396000 = 159192 in.lb/min

$$Power = T\ \omega$$

$$159192 = F_c \left(\frac{D}{2}\right)\ (2\pi)(100)$$

$$159192 = F_c\left(\frac{100}{2}\right)(2\pi)(100)$$
$$F_c = \frac{159192}{(50)\,(2\pi)(100)}$$
$$F_c = 5{,}067 \text{ lbf}$$

F_{tan} merupakan 30% dari F_c, jadi :
$F_{tan} = 1{,}3\ x\ 5{,}067 = 6{,}587$ lbf = 2,986 kgf x 9,81 m/s^2
= 29,292 N

Menghitung momen bending :

Reaksi tumpuan :

A. Arah horizontal :

$$+\sum M_A = 0$$
$$W_{rangka}\,.\,300\ mm = 650\ mm\,.\,B_x$$
$$B_x = \frac{107{,}91\ N\ .\ 325\ mm}{650\ mm}$$
$$B_x = 53{,}955\ N$$

$$\uparrow + \sum F_x = 0$$
$$A_x + B_x + F_{tan} = 0$$
$$A_x = -B_x - F_{tan}$$
$$A_x = -53{,}955\ N\ -\ 29{,}292\ N$$
$$A_x = -83{,}247\ N$$

B. Arah Vertikal

$$+\sum M_A = 0$$
$$-B_y\,.\,650\ mm - W_{bor}\,.\,300\ mm + W_{rangka}\,.\,325\ mm$$
$$-B_y = \frac{49{,}05\ N\,.\,300\ mm - 107{,}51\ N\ .\ 325\ mm}{650\ mm}$$
$$-B_y = -31{,}116\ N$$

$$B_y = 31{,}116\ N$$

$$\uparrow + \sum F_y = 0$$
$$A_y + B_y = W_{bor} + W_{rangka}$$
$$A_y + 31{,}116\ N = 49{,}05\ N + 107{,}51\ N$$
$$A_y = 125{,}444\ N$$

Momen Terbesar

$$M_B = \sqrt{(M_h)^2 + (M_v)^2}$$

$$M_B = \sqrt{(53{,}955)^2 + (125{,}444)^2}$$

$$M_B = \sqrt{2911{,}142 + 15736{,}197}$$

$$M_B = 136{,}55\ N.mm$$

4.1.1 Perhitungan Bantalan

Bearing yang di pakai dalam rancangan ini adalah Single Row Deep Grove Ball Bearing. Dan dari analisa dan perhitungan pada bagian sebelumnya diperoleh data-data sebagai berikut :

1. Diameter poros (Dp) : 16 mm
2. n (putaran motor penggerak meja) : 100 rpm
3. f (koefisien gesek) : 0,0015
4. Fr : 434,295 lbf
5. Fa : 3 N = 0,674 lbf

Fa diperoleh dari gaya pemakanan pada sistem gerak

Bantalan menerima beban yang berkombinasi antara beban radial (F_r) dan beban axial (F_a) karena tipe bantalan yang dipilih adalah *single row deep grove ball bearing* maka:

$$\frac{i.\ F_a}{Co} = \frac{1.\ 0{,}674}{1470} = 0{,}000458$$

Didapat e = 0,19

Akibat adanya gesekan pada bearing dapat menyebabkan kehilangan daya, maka dapat dihitung menggunakan persamaan (2.1) :

Diketahui :

f = 0,0015 (dilihat pada tabel 2.1)
F_r = 125,444 N = 28,2 lbf
d = 16 mm = 0,6304 in
n = 100 rpm

$$F_{HP} = \frac{f \,.\, F_r .\, d_n}{126.056}$$

$$F_{HP} \; \frac{0{,}0015 \,.\, 28{,}2 \; lbf . 0{,}6304 \; in \,.\; 100 \; rpm}{126.056}$$

$$F_{HP} = 0{,}021 \; HP$$

4.1.1.1 Prediksi Umur Bearing

Dengan asumsi putaran konstan, maka prediksi umur bearing dinyatakan dalam jam dapat dihitung menggunakan persamaan (2.2) :

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P}\right)^b x \; \frac{10^6}{60.n}$$

Mencari nilai P menggunakan persamaan (2.3) :
Nilai X dan Y dapat dicari pada lampiran (1)

Didapat harga e pada lampiran (1) yaitu = 0,19
Lalu dicari $\frac{F_a}{V.F_r} > e$

$$\frac{0{,}674}{1.28{,}2} > 0.19$$

$$0{,}0015 < 0{,}19$$

maka didapat X dan Y. Karena (Fa/(V.Fr) < e dan deret bearing adalah single row maka sesuai dasar teori :

Diperoleh : X = 1 dan Y = 0
Nilai V = 1 ; karena ring dalam berputar

Beban Ekivalen :

$$P = V.X.F_r + Y.F_a$$
$$P = 1.0{,}56\ .28{,}2\ \ + 0\ .\ 0{,}674$$
$$P = 15{,}792\ lbf$$

Setelah diketahui nilai P maka masuk ke rumus :
Untuk nilai C dan P dapat dilihat pada lampiran (2)

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P}\right)^{b} x\ \frac{10^6}{60.n}$$

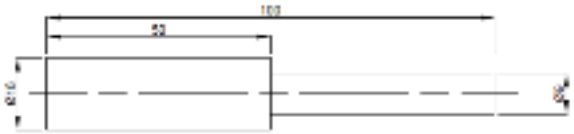
$$L_{10h} = \left(\frac{2340}{15{,}792}\right)^{3} x\ \frac{10^6}{60.100}$$
$$L_{10h} = 3253390\ x\ 166{,}67$$
$$L_{10h} = 5.422.425.598 \text{ Jam Kerja}$$

4.2 Perhitungan Sistem Gerak

Berikut ini merupakan perencaan dalam proses sistem gerak mesin ECG :

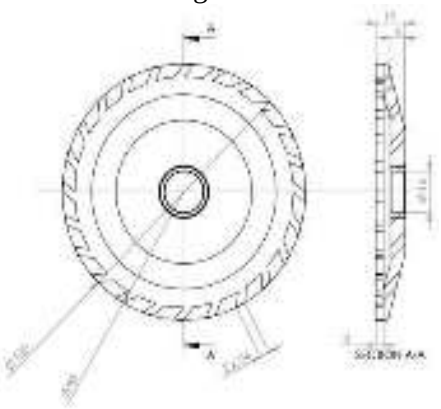
4.2.1 Perhitungan Daya Penggerak *Metal-Bonded Grinding Wheel*

Data – data yang diketahui :



Gambar 4.3 Dimensi poros metal-bonded grinding wheel

Massa Poros = 309 g



Gambar 4.4 Dimensi metal-bonded grinding wheel

Massa *metal-bonded grinding wheel* = 120 g
Massa tool = 305 g = 0,305 Kg
Δt = 0,5 s
Momen inersia =

$$I = \frac{1}{2} . m . r^2$$
$$I = \frac{1}{2} . 0{,}305\ Kg . 0{,}045^2$$
$$I = 0{,}0003088125\ Kgm^2$$

Maka kecepatan sudut =

$$\omega = \frac{2 . \pi . n}{60}$$
$$\omega = \frac{2 . \pi . 3000}{60}$$
$$\omega = 314{,}159\ {}^{rad}/_{s}$$

Sehingga percepatan sudut =

$$\alpha = \frac{\omega - \omega}{\Delta t}$$

$$\alpha = \frac{314{,}159\ {}^{rad}/_{s} - 0}{0{,}5\ s}$$

$$\alpha = 628{,}318\ {}^{rad}/_{s^2}$$

Dapat diperoleh torsi =

$$T = I\ .\ \alpha$$

$$T = 0{,}0003088125\ Kgm^2\ .\ 628{,}318\ {}^{rad}/_{s^2}$$

$$T = 0{,}194032\ Nm$$

Daya penggerak tool tanpa proses machining :

$$P_1 = T\ .\ \omega$$

$$P_1 = 0{,}194032\ Nm\ .\ 314{,}159\ {}^{rad}/_{s}$$

$P_1 = 60{,}956\ W$ ⟶ Daya tanpa proses machining

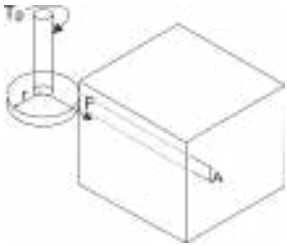
$$P_1 = 0{,}060956\ kW$$

Saat proses machining :

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

Maka :

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



Gambar 4.5 Arah gaya makan

Dimana :

σ_{max} = 30 Mpa

A= s . b_s

= 10 mm . 10 mm

= 100 mm^2 = 0,0001 m^2

Sehingga :

$$F = \sigma_{max} . A$$
$$F = 30\ Mpa . 0{,}0001\ m^2$$
$$F = 3\ N$$

Jadi daya penggerindaan :

$$P_2 = \frac{F . L . \omega}{1000}$$
$$P_2 = \frac{3\ N . 0{,}009\ m . \ 314{,}159\ rpm}{1000}$$
$$P_2 = 0{,}00848\ W$$

$$P_{total} = P_1 + P_2$$
$$P_{total} = 60{,}956\ W + 0{,}00848\ W$$
$$P_{total} = 60{,}96448\ W = 0.081\ HP$$

Sehingga daya motor minimal yang harus dibutuhkan adalah 0,09311 HP.

4.2.2 Perhitungan Poros

Skema tegangan torsi yang terjadi pada poros *metal- bonded grinding wheel*

Gambar 4.6 Skema tegangan torsi pada poros

Data – data yang diketahui :
Bahan yang digunakan adalah baja ST 42
S_{yp} = 42 kgf/mm^2
P_{total} = 0,069438 kW
S_f = 1 (untuk beban ringan)
N (motor drill) = 250 watt = 0,335 HP
k_s = 0,5 (faktor koreksi)
F = 3 N = 0,305 kgf

Momen Torsi yang terjadi :

$$T_p = 9{,}74 \,.\, 10^5 \,.\, \frac{P_d}{n}$$

$$T_p = 9{,}74 \,.\, 10^5 \,.\, \frac{0{,}069438\ kW}{3000\ rpm}$$

$$T_p = 22{,}544\ Kgf.mm$$

Momen Bending :

$$M_b = F\ x\ r$$

$$M_b = 0{,}305\ kgf\ x\ 50\ mm$$

$$M_b = 15{,}25\ kgf.mm$$

Maka diameter minimum poros :

$$\frac{0{,}5\ S_{yp}}{S_f} \geq \frac{16}{\pi\ d^3} \sqrt{{M_b}^2 + {T_p}^2}$$

$$\frac{0{,}5\ 42}{1} \geq \frac{16}{\pi\ d^3}\sqrt{15{,}25^2 + 22{,}544^2}$$
$$\frac{0{,}5\ 42}{1} \geq \frac{16}{\pi\ d^3}\sqrt{740{,}794}$$
$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16\ x\ 740{,}794}{\pi\ x\ 0{,}5\ x\ 42}}$$
$$d \geq 5{,}642\ mm$$

Jadi diameter minimum poros yang dibutuhkan adalah 5,642 mm, namun digunakan poros dengan diameter 16 mm karena lubang pada *metal-bonded grinding wheel* memiliki ukuran sekitar 16 mm.

a. Gaya yang Terjadi pada Ulir

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

$$\sigma_t = \frac{0{,}12\ x\ 9{,}81}{\left(\frac{\pi}{4}\right) x\ (13{,}835^2)}$$
$$\sigma_t = \frac{1{,}177}{150{,}331}$$
$$\sigma_t = 7{,}829\ x\ 10^{-3} Kgf/mm^2$$

b. 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

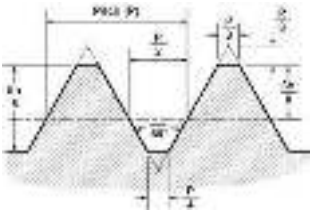
$$h = \frac{d - d_1}{2}$$
$$h = \frac{16 - 13{,}835}{2}$$
$$h = 1{,}083$$

Maka :

$$q = \frac{1{,}177}{\pi\, x\, 14{,}701\, x\, 1{,}083\, x\, 6{,}4}$$
$$q = 3{,}677\, x\, 10^{-3}\ Kgf/mm^2$$

4.2.3 Perhitungan Ulir Penggerak

Direncanakan kapasitas mesin sebesar 1000 mm^3/min maka ulir ditentukan sebagai berikut :



Gambar 4.7 Ulir segitiga

Diketahui : $W = 12\ kgf = 26{,}455\ lbf$
W didapat menggunakan neraca pegas.

p = 2 mm
d_m = 16 mm = 0,6304 in
n = 2
h = menggunakan rumus

$$h = 0{,}86603\ .P$$
$$h = 0{,}86603\ .2$$
$$h = 1{,}73206\ mm = 0.068 \text{ in}$$

a. Tegangan Bearing

$$\sigma_B = \frac{W}{\pi\ .\ d_m.h\ .n}$$

$$= \frac{26{,}455\ lbf}{\pi\ .\ 0{,}6304\ .0{,}068\ .2}$$

$$= 98{,}22\ Psi$$

b. Tegangan Bending Maksimum
Diketahui : h = 1,73206 mm
n = 2
dm = 16 mm = 0,629 in
b = 2

Momen Bending :

$$M = \frac{W.\ h}{2}$$

$$= \frac{26{,}455\ lbf\ .0{,}068\ in}{2}$$

$$= 0{,}899\ lbf.in$$

$$\sigma_B = \frac{3.W.h}{(\pi.dm.n)b^2}$$

$$\sigma_B = \frac{3\ .26{,}455\ .0{,}068}{(\pi.0{,}629.2)\ 2^2}$$

$$\sigma_B = 0{,}341\ Psi$$

Ulir penggerak memiliki kecepatan dengan rumus :

$V = n_{motor}\ .p$

$= 100\ rpm\ .2\ mm$

$= 200\ mm/min$

4.2.4 Perhitungan Roda Gigi

Perhitungan roda gigi dapat menggunakan rumus AGMA yaitu :

Diketahui :

Δt = 0,2 s

d = 18,8 mm

m = 0,2 kg

n = 100 rpm

Untuk mencari torsi maka harus diketahui Momen Inersia dan percepatan sudutnya. Maka dapat dihitung :

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

$$= \frac{2.\pi.100}{60}$$
$$= 10{,}471\ rad/s$$

$$I = \frac{1}{2}\, m\, r^2$$
$$I = \frac{1}{2}\, 0{,}2\ kg.\, 0{,}0094^2\ m$$
$$= 0{,}00002209\ kgm$$

Percepatan sudut dapat dicari dengan persamaan

$$\alpha = \frac{\omega - \omega'}{\Delta t}$$
$$\alpha = \frac{10{,}471 - 0}{0{,}2}$$
$$\alpha = 52{,}359\ rad/s^2$$

$$T = I.\alpha$$
$$T = 0{,}00002209\ kgm\ .52{,}359\ rad/s^2$$
$$T = 0{,}00115\ Nm$$

Jadi daya dapat dihitung :
$P = T\ .\omega$
$P = 0{,}00115\ Nm\ .\ 10{,}471\ rad/s$
$P = 0{,}012\ HP$

Kemudian menghitung dengan Persamaan AGMA :

$$\sigma_b = \frac{F_t.K_o.D_{tp}.K_s.K_m}{K_v.b.J}$$

Mencari nilai Ft : $F_t = \frac{T}{r}$

$$T = 63.000\ \frac{N}{n}$$
$$T = 63.000\ \frac{0{,}012\ HP}{100\ rpm}$$
$$T = 7{,}55 \text{ lbf}$$

$$F_t = \frac{T}{r}$$
$$F_t = \frac{7{,}55\ lbf}{3{,}70079\ in}$$
$$F_t = 2{,}04\ N$$

Mencari K_o = ditentukan pada tabel (2.3) asumsi beban kejut uniform jadi Ko = 1

Mencari nilai Dtp yaitu :

$$D_{tp} = \frac{N_t}{d}$$
$$D_{tp} = \frac{8}{14}$$
$$D_{tp} = 0{,}571$$

Nilai K_s = 1, karena tipe roda gigi lurus
Menentukan nilai K_m = dilihat pada tabel (2.4) diperoleh nilai 1,3

Menentukan nilai K_v dengan rumus sebagai berikut :

$$V_p = \frac{\pi . d . n}{12}$$
$$V_p = \frac{\pi . 18{,}8 . 100}{12}$$
$$V_p = 5906{,}19$$

Maka nilai K_v adalah

$$K_v = \frac{50}{50 + \sqrt{V_p}}$$
$$K_v = \frac{50}{50 + \sqrt{5906,19}}$$
$$K_v = \frac{50}{126,85}$$
$$K_v = 0,394$$

Nilai b dilihat pada gambar grafik (2.13) = 4 mm
Dan nilai J juga dapat ditentukan pada gambar grafik (2.13) = 0,34

Jadi persamaan AGMA :

$$\sigma_b = \frac{F_t . K_o . D_{tp} . K_s . K_m}{K_v . b . J}$$
$$\sigma_b = \frac{2,04.1.0,571.1.1,3}{0,394.4.0,35}$$
$$\sigma_b = 54,259\ psi$$

Untuk mengetahui roda gigi aman atau tidak maka rumus AGMA menjadi :

$$\sigma_b \leq S_{ad}$$
$$\sigma_b \leq \frac{S_{at} . K_L}{K_T . K_R}$$
$$\sigma_b \leq \frac{1900.1,4}{1.1,5}$$
$$54,259\ psi \leq 17733,33\ psi$$

Nilai S_{at} dapat dilihat pada lampiran = 19.000 psi
Nilai K_L dilihat pada lampiran = 1,4
Nilai $K_T = \frac{460 + T_f}{620} = 1$ karena T pelumas dibawah 250ºF
Nilai K_R = 1,5
Maka roda gigi **aman.**

Lalu dicari $\frac{F_a}{V.F_r} > e$

$$\frac{26{,}455}{1.26{,}455} > 0.19$$

$1 > 0{,}19$ maka didapat X dan Y

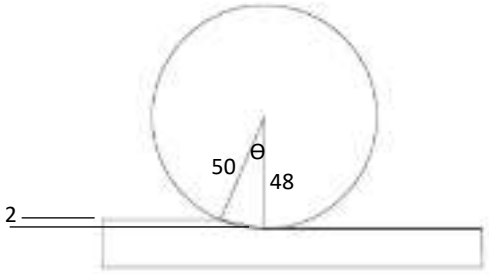
Diketahui : X = 0,56 dan Y = 1,99
Nilai V = 1 ; karena ring dalam berputar

$$P = V.X.F_r + Y.F_a$$
$$P = 1.0{,}56\,.26{,}455 + 1{,}99\,.\,26{,}455$$
$$P = 67{,}46\ lbf$$

4.2.5 Perhitungan Silindrical Grinding

Pertama mencari luasan sesaat pada saat menggerinda, seperti pada ilustrasi berikut :

Diketahui : d = 100 mm
(f_r) = 2 mm
Z' = 1000 mm^3/min
N = 3000 rpm



Gambar 4.8 Proses gerinda silindris

a. Cara mencari luasan sesaat dengan cara menghitung busur lingkaran :
Mencari sudut Θ :

$$Cos\ \theta = \frac{48}{50}$$
$$\theta = \cos^{-1} 0{,}96$$
$$\theta = 16{,}26°$$

Luas Busur = $\frac{\theta}{360} . 2. \pi . r$

Luas Busur = $\frac{16{,}26}{360} . 2. \pi . 50$

Luas Busur = $14{,}19\ mm^2$

b. Kemudian mencari V_s :

$$V_s = \frac{\pi . d . n}{60}$$
$$V_s = \frac{\pi . 100 . 3000}{60}$$
$$V_s = 15.707\ mm/s$$

c. Dicari h_{eq} :

$$h_{eq} = \frac{Z'}{V_s} = \frac{1000}{15.707} = 0{,}063\ \mu m$$

d. Setelah h_{eq} didapat maka mencari V_{ft} :

$$h_{eq} = \frac{F_r . V_{ft}}{V_s}$$
$$0{,}063 = \frac{2\ .\ V_{ft}}{15.707}$$
$$V_{ft} = \frac{0{,}0632\ .\ 15.707}{2}$$
$$V_{ft} = 494{,}77\ mm/s$$

Dari perhitungan teori di atas maka kecepatan gerak meja pada mesin ECG ini aman untuk digunakan, dengan kecepatan 200 mm/min.

4.3 Hasil dan Analisa

4.3.1 Pengujian Mesin ECG

Pengujian dilakukan dengan cara melakukan penggerindaan konvensional dan proses ECG secara bergiliran dengan waktu yang sama dengan metode gerinda silindris.

Gambar 4.9 Hasil penggerindaan konvensional

4.3.1.1 Hasil Pengujian Penggerindaan konvensional

Waktu pengujian = 1 menit
Dimensi yang di gerinda = 102,65 mm
Dimensi hasil penggerindaan = 102,35 mm
Kedalaman penggerindaan (a) = 0,3 mm

$$\text{MRR} = \frac{Panjang\ penggerindaan\ x\ b_s\ x\ a}{Waktu\ penggerindaan}$$

$$\text{MRR} = \frac{102{,}65\ x\ 5\ x\ 0{,}3}{1}$$

$$\text{MRR} = 153{,}975\ \text{mm}^3/\text{min}$$

5.3.2.1 Hasil Pengujian Proses ECG

Gambar 4.10 Hasil pengujian proses ECG

Data-data yang diketahui :

Waktu pengujian	= 1 menit
Dimensi yang di gerinda	= 102,35 mm
Dimensi hasil penggerindaan	= 100,35 mm
Kedalaman penggerindaan (a)	= 2,35 mm
Ampere yang digunakan	= 30 A

Maka MRR yang dihasilkan dihitung menggunakan :

$$\text{MRR} = \frac{Panjang\ penggerindaan\ x\ b_s\ x\ a}{Waktu\ penggerindaan}$$

$$\text{MRR} = \frac{100{,}35\ x\ 5\ x\ 2{,}35}{1}$$

$$\text{MRR} = 1179{,}11\ \text{mm}^3/\text{min}$$

4.4 Hasil dan Analisa

Dari hasil pengujian didapat MRR ECG dengan kapasitas 1179,11 mm^3/min. Dengan proses ECG sebesar 90% dan proses penggerindaan konvensional sebesar 10%. Pada referensi buku

kalpakjian "*manufacturing Engineering and Technology"* menyebutkan bahwa dalam mesin ECG. Mayoritas metal removal rate dari ECG dari proses electrolisis dan 5% nya dari penggerindaan konvensional. Dari hal tsb maka penggerindaan menggunakan ECG lebih baik dibandingkan dengan penggerindaan non konvensional.

Gambar 4.11 Perbandingan hasil penggerindaan

BAB V
KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Pembuatan mesin ECG dengan memanfaatkan beberapa komponen – komponen dan bahan – bahan yang ada di laboratorium PNK D3 Teknik Mesin Industri ITS telah berhasil. Dan mesin ECG yang telah dibuat memiliki kapasitas 1179,11 mm^3/min
2. Motor penggerak batu gerinda digunakan motor drill dengan daya 0,335 HP dengan putaran sebesar 3000 rpm
3. Kecepatan gerak makan maksimum mencapai 200 mm/min dengan ulir penggerak digunakan M 16, dapat bergerak ke arah sumbu x dan y.

5.2 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 tdak diperlukan larutan elektrolit dengan volume yang banyak.
2. Penambahan kontrol kecepatan motor penggerak meja agar hasil penggerindaan lebih besar lagi
3. Desain ulang aquarium supaya ruang gerak pahat lebih luas lagi.

DAFTAR PUSTAKA

1. **Kalpakjian, Serope dan Steven R Schmid**. Manufacturing Processes for Engineering Materials, New Jersey : Prentice Hall, 2003

2. **Kalpakjian, Serope dan Steven R Schmid.** Manufacturing Engineering and Technology, New jersey : Pearson, 2009.

3. **Pandey, P.C dan H.S Shan.** Modern Machining Processes, New Delhi : Tata Mcgraw-Hill Publishing Company Limited, 1976.

4. **Sularso dan Kiyosatsu Suga** Dasar Perencanaan dan Penelitian Elemen Mesin, Jakarta : PT. Pradnya Paramita, 2008 – Vol. XII.

5. **Rochim, Taufiq** Teori dan Teknologi Proses Pemesinan, Bandung : Higher Education Development Support Project,1993.

6. **Deutschment, Aaron** Machine Design Theory, Collier Macmillan International Edition, London, 1985.

7. **Dobrovolsky, V. K. Zablonsky. S. Max. A. Radchik. & L. Erika : Machine Element**, Second Ediiton, Peace Publisher, Moskow, 1968.

8. **K. Lingaiah : Machine Design Data Handbook,** McGraw Hill, inc. New York, 1994.

9. **Mott Robert L : Machine Element in Mechanical Design**, fourth edition, Pearson Prentice Hall, New Jersey, 2004

10. **Bagaswara, Tito : Rancang Bangun Mesin Electrochemical Grinding dengan Kapasitas 100 mm^3/min**, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya, 2017.

Lampiran 1 : Beban Equivalen Bearing

Factor X and Y for Ball and Roller Bearings

Contact anguler α , deg	(i.Fa/Co)	Single-Row Bearing (Fa/V.Fr) >e		Double-Row Bearing (Fa/V.Fr) <e		Double-Row Bearing (Fa/V.Fr) >e		e
		X	Y	X	Y	X	Y	
Radial Contact Ball Bearing								
	0,014	0,56	2,30	1	0	0,56	2,30	0,19
	0,028		1,99				1,99	0,22
	0,056		1,71				1,71	0,26
	0,084		1,55				1,55	0,28
	0,110		1,45				1,45	0,30
	0,170		1,31				1,31	0,34
	0,280		1,15				1,15	0,38
	0,420		1,04				1,04	0,42
	0,560		1,00				1,00	0,44
Anguler Contact Ball Bearing								
5	0,014	0,56	2,30	Use X,Y and e evaluasses applicable to single-row radial contact bearing	2,78	0,78	3,74	0,23
	0,028		1,99		2,40		3,23	0,26
	0,056		1,71		2,07		2,78	0,30
	0,085		1,55		1,87		2,52	0,34
	0,110		1,45		1,75		2,36	0,36
	0,170		1,31		1,58		2,13	0,40
	0,280		1,15		1,39		1,87	0,45
	0,420		1,04		1,26		1,69	0,50
	0,560		1,00		1,21		1,63	0,52
10	0,014	0,46	1,88	1,0	2,18	0,75	2,30	0,19
	0,029		1,71		1,98		1,99	0,22
	0,057		1,52		1,76		1,71	0,26
	0,086		1,41		1,63		1,55	0,28
	0,110		1,34		1,55		1,45	0,30
	0,170		1,23		1,42		1,31	0,34
	0,290		1,10		1,27		1,15	0,38
	0,430		1,01		1,17		1,04	0,42
	0,570		1,00		1,16		1,00	0,44

Catatan :

(Fa/V.Fr) = e , maka : X = 1 dan Y = 0 (Single-row Bearing)

Sumber : Deutschman, 1975

Lampiran 2 : Standar dimension and load rating of radila rolling bearing

:

(Co = basic static load ,lb ; C = basic dynamic load rating, lb)

Bearing Bore, d	Outside Dia. D	Max Fillet Radius	Dimension Series 03											
			Width	Self aligning Ball Bearing		Single Row Deep Groove Ball Bearing		Angular Contact Sleep angle Ball Bearing		Cylindrical Roller Bearing		Spherical Roller Bearing	
mm	mm	in	B mm	Co	C	Co	C	Co	C	Co	C	Co	C
4	16	0,012	5										
5	19	0,012	6										
6													
7													
8													
9													
10	35	0,024	11			845	1400						
12	37	0,039	12	530	1630	1040	1680						
15	42	0,039	13	590	1650	1220	1960						
17	47	0,039	14	620	2170	1470	2340						
20	52	0,039	15	900	2150	1750	2750	1920	3000				
25	62	0,039	17	1350	3110	2390	3660	2870	4220	2870	5130	6000	6700
30	72	0,039	19	1740	3700	3340	4850	3840	5370	3940	6760	8500	9500
35	80	0,059	21	2210	4350	4020	5750	4620	6340	5370	8030	9800	10900
40	90	0,059	23	2740	5110	5020	7040	5770	7740	6340	10300	12900	13700
45	100	0,059	25	3580	6600	6730	9120	7730	10100	8030	14200	17300	17000
50	110	0,079	27	3930	7510	8010	10700	9200	11800	11100	17000	18300	19300

Sumber : Deutschman, 1975

Lampiran 3 : Tabel Konversi Satuan (a)

TABLE . ! *Conversion Factors*

Area

1 $mm^2 = 1.0 \times 10^{-6}$ m^2	1 ft^2 = 144 $in.^2$
1 $cm^2 = 1.0 \times 10^{-4}$ $m^2 = 0.1550$ $in.^2$	1 $in.^2 = 6.4516$ $cm^2 = 6.4516 \times 10^{-4}$ m^2
1 m^2 = 10.7639 ft^2	1 $ft^2 = 0.092\,903$ m^2

Conductivity

1 W/m-K = 1 J/s-m-K = 0.577 789 Btu/h-ft-R	1 Btu/h-ft-R = 1.730 735 W/m-K

Density

1 $kg/m^3 = 0.06242797$ lbm/ft^3 1 $g/cm^3 = 1000$ kg/m^3 1 $g/cm^3 = 1$ kg/L	1 $lbm/ft^3 = 16.018\,46$ kg/m^3

Energy

1 J = 1 N-m = 1 $kg\text{-}m^2/s^2$	
1 J = 0.737 552 lbf-ft	1 lbf-ft = 1.355 818 J
1 cal (Int.) = 4.1868 J	= 1.28507×10^{-3} Btu
	1 Btu (Int.) = 1.055 056 kJ
1 erg = 1.0×10^{-7} J	= 778.1693 lbf-ft
1 eV = $1.602\,177\,33 \times 10^{-19}$ J	

Force

1 N = 0.224809 lbf	1 lbf = 4.448 222 N
1 kp = 9.80665 N (1 kgf)	

Gravitation

$g = 9.80665$ m/s^2	$g = 32.17405$ ft/s^2

Heat capacity, specific entropy

1 kJ/kg-K = 0.238 846 Btu/lbm-R	1 Btu/lbm-R = 4.1868 kJ/kg-K

Heat flux (per unit area)

1 $W/m^2 = 0.316\,998$ $Btu/h\text{-}ft^2$	1 $Btu/h\text{-}ft^2$ = 3.15459 W/m^2

Heat transfer coefficient

1 $W/m^2\text{-}K = 0.176\,11$ $Btu/h\text{-}ft^2\text{-}R$	1 $Btu/h\text{-}ft^2\text{-}R$ = 5.67826 $W/m^2\text{-}K$

Length

1 mm = 0.001 m = 0.1 cm	1 ft = 12 in.
1 cm = 0.01 m = 10 mm = 0.3970 in.	1 in. = 2.54 cm = 0.0254 m
1 m = 3.28084 ft = 39.370 in.	1 ft = 0.3048 m
1 km = 0.621 371 mi	1 mi = 1.609344 km
1 mi = 1609.3 m (US statute)	1 yd = 0.9144 m

(b)

TABLE (Continued) *Conversion Factors*

Specific kinetic energy (V^2)

$1\ m^2/s^2 = 0.001\ kJ/kg$
$1\ kJ/kg = 1000\ m^2/s^2$

$1\ ft^2/s^2 = 3.9941 \times 10^{-3}$ Btu/lbm
1 Btu/lbm = 25037 ft^2/s^2

Specific potential energy (Zg)

$1\ m\text{-}g_{std} = 9.80665 \times 10^{-3}$ kJ/kg
$= 4.21607 \times 10^{-3}$ Btu/lbm

$1\ ft\text{-}g_{std} = 1.0$ lbf-ft/lbm
$= 0.001285$ Btu/lbm
$= 0.002989$ kJ/kg

Specific volume

$1\ cm^3/g = 0.001\ m^3/kg$
$1\ cm^3/g = 1\ L/kg$
$1\ m^3/kg = 16.018\ 46\ ft^3/lbm$

$1\ ft^3/lbm = 0.062\ 428\ m^3/kg$

Temperature

$1\ K = 1\ °C = 1.8\ R = 1.8\ F$
$TC = TK - 273.15$
$= (TF - 32)/1.8$
$TK = TR/1.8$

$1\ R = (5/9)\ K$
$TF = TR - 459.67$
$= 1.8\ TC + 32$
$TR = 1.8\ TK$

Universal Gas Constant

$R = N_0 k = 8.31451$ kJ/kmol-K
$= 1.98589$ kcal/kmol-K
$= 82.0578$ atm-L/kmol-K

R = 1.98589 Btu/lbmol-R
= 1545.36 lbf-ft/lbmol-R
= 0.73024 atm-ft^3/lbmol-R
= 10.7317 (lbf/$in.^2$)-ft^3/lbmol-R

Velocity

1 m/s = 3.6 km/h
= 3.28084 ft/s
= 2.23694 mi/h
1 km/h = 0.27778 m/s
= 0.91134 ft/s
= 0.62137 mi/h

1 ft/s = 0.681818 mi/h
= 0.3048 m/s
= 1.09728 km/h
1 mi/h = 1.46667 ft/s
= 0.44704 m/s
= 1.609344 km/h

Volume

$1\ m^3 = 35.3147\ ft^3$
1 L = 1 dm^3 = 0.001 m^3
1 Gal (US) = 3.785 412 L
= $3.785\ 412 \times 10^{-3}\ m^3$

$1\ ft^3 = 2.831\ 685 \times 10^{-1}\ m^3$
1 $in.^3 = 1.6387 \times 10^{-5}\ m^3$
1 Gal (UK) = 4.546 090 L
1 Gal (US) = 231.00 $in.^3$

(c)

TABLE (Continued) *Conversion Factors*

Mass

1 kg = 2.204 623 lbm	1 lbm = 0.453 592 kg
1 tonne = 1000 kg	1 slug = 14.5939 kg
1 grain = 6.47989×10^{-5} kg	1 ton = 2000 lbm

Moment (torque)

1 N-m = 0.737 562 lbf-ft	1 lbf-ft = 1.355 818 N-m

Momentum (mV)

1 kg-m/s = 7.232 94 lbm-ft/s = 0.224809 lbf-s	1 lbm-ft/s = 0.138 256 kg-m/s

Power

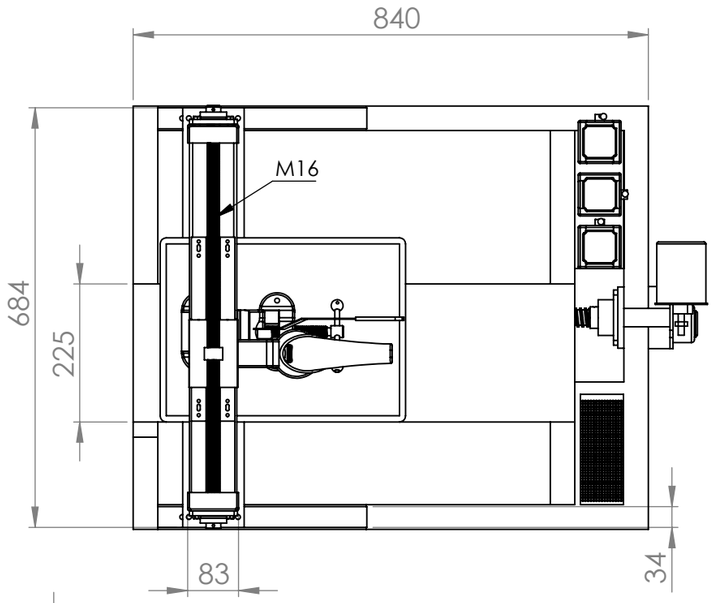
1 W	= 1 J/s = 1 N-m/s = 0.737 562 lbf-ft/s	1 lbf-ft/s	= 1.355 818 W = 4.626 24 Btu/h
1 kW	= 3412.14 Btu/h	1 Btu/s	= 1.055 056 kW
1 hp (metric)	= 0.735 499 kW	1 hp (UK)	= 0.7457 kW = 550 lbf-ft/s = 2544.43 Btu/h
1 ton of refrigeration	= 3.516 85 kW	1 ton of refrigeration	= 12 000 Btu/h

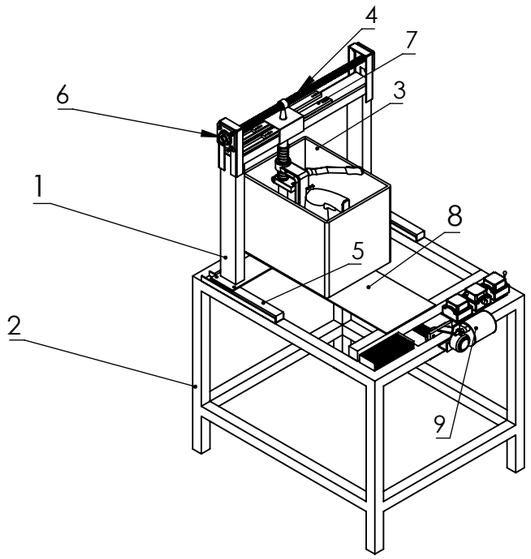
Pressure

1 Pa	= 1 N/m^2 = 1 kg/m-s^2	1 lbf/in.^{2}	= 6.894 757 kPa
1 bar	= 1.0×10^5 Pa = 100 kPa		
1 atm	= 101.325 kPa	1 atm	= 14.695 94 lbf/in.^{2}
	= 1.01325 bar		= 29.921 in. Hg [32 F]
	= 760 mm Hg [0°C]		= 33.899 5 ft H_2O [4°C]
	= 10.332 56 m H_2O [4°C]		
1 torr	= 1 mm Hg [0°C]		
1 m Hg [0°C]	= 0.133 322 kPa	1 in. Hg [0°C]	= 0.49115 lbf/in.^{2}
1 m H_2O [4°C]	= 9.806 38 kPa	1 in. H_2O [4°C]	= 0.036126 lbf/in.^{2}

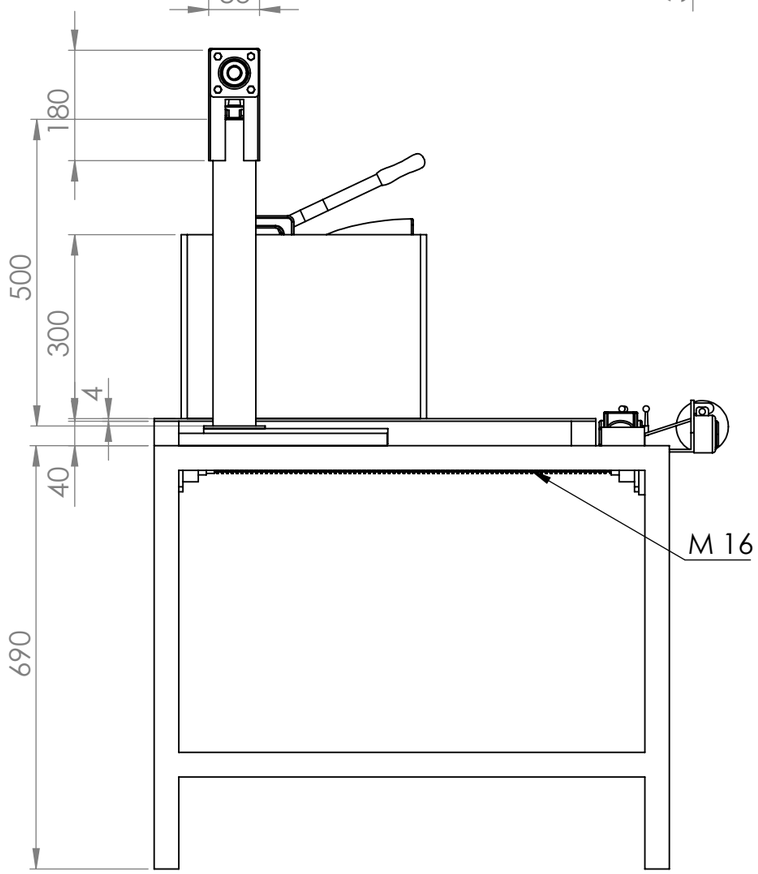
Specific energy

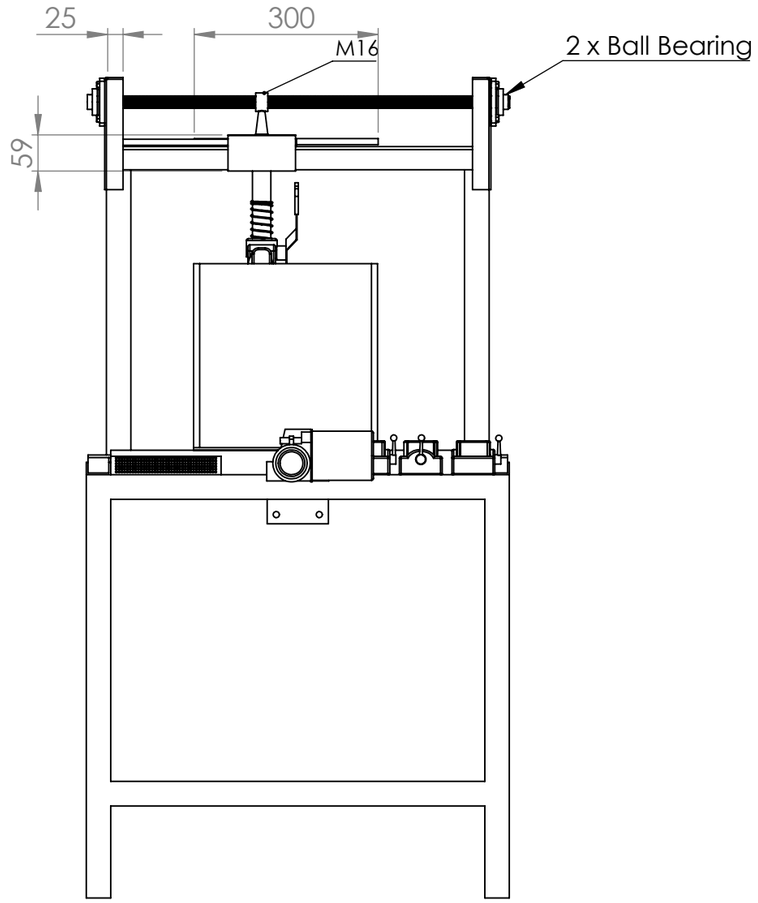
1 kJ/kg = 0.42992 Btu/lbm = 334.55 lbf-ft/lbm	1 Btu/lbm = 2.326 kJ/kg 1 lbf-ft/lbm = 2.98907×10^{-3} kJ/kg = 1.28507×10^{-3} Btu/lbm





No	Jml	Nama	Bahan	Normalisasi	Keterangan
1	2	Besi Holo	SS		8x5
2	12	Besi Holo	ST 37		4x4
3	1	Aquarium	Akrilik		300 x 400
4	2	Ulir Penggerak	ST 37		M 16
5	2	Rel	Aluminium		400 x 50
6	4	Bearing			Single Row Deep Groove Ball Bearinig
7	2	Rel	Aluminium		350 x 40
8	4	Plat	ST 37		5
9	4	Motor DC			24 volt





Skala : 1 : 10	Digambar : Angga Permana Putra	Keterangan	
Ukuran : mm	NRP : 102115000000039		
Tanggal : 9 - 07 - 18	Dilihat : Ir. Winarto, DEA		
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI	**Mesin Electrochemical Grinding**	**No**	**A3**

BIODATA PENULIS

Penulis dilahirkan di Bangkalan pada tanggal 16 Agustus 1997 dengan nama Angga Permana Putra, anak pertama dari dua bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditempuh yaitu SD Negeri Blega 04, SMPN 1 Blega, SMAN 1 Bangkalan, kemudian melanjutkan studinya di Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya dengan mengambil bidang studi manufaktur.

Penulis juga pernah melaksanakan Kerja Praktik di PT. PJB UPHT Gresik, yang bergerak dalam bidang pembangkit daya listrik bagian Jawa-Bali.

Penulis aktif diberbagai kegiatan dalam kampus di departemen. Pernah menjabat sebagai staff ahli Komunikasi dan Informasi (KOMINFO) Himpunan Mahasiswa D3 Teknik Mesin, dan sampai saat ini masih menjadi Kru dari ITS TV yang berada di bawah naungan HUMAS ITS. Selain itu banyak pula pelatihan dan event – event dalam lingkup jurusan, fakultas, institut yang diikutinya baik event akademis maupun non-akademis selama menjadi mahasiswa aktif di lingkungan ITS.