



TUGAS AKHIR - TM 141585

**PENGEMBANGAN MESIN *MAGNETIC PERPETUAL MOTION* DENGAN ACUAN PADA VARIABEL *CLEARANCE* DAN SISTEM *OVERHEAD CAMSHAFT***

BENEDICTUS BAYU INDRAWADI  
NRP 2112 100 105

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc. Ph.D.

JURUSAN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR – TM141585

**PENGEMBANGAN MESIN *MAGNETIC PERPETUAL MOTION* DENGAN ACUAN PADA VARIABEL *CLEARANCE* DAN SISTEM *OVERHEAD CAMSHAFT***

BENEDICTUS BAYU INDRAWADI  
NRP. 2112100105

Dosen Pembimbing:  
Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc. Ph.D.

PROGRAM SARJANA  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2017



FINAL PROJECT – TM141585

**DEVELOPMENT OF MAGNETIC PERPETUAL  
MOTION MACHINE CONSIDERING VARIABLE OF  
CLEARANCE AND OVERHEAD CAMSHAFT  
SYSTEM**

BENEDICTUS BAYU INDRAWADI  
NRP. 2112100105

Advisory Lecturer  
Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc. Ph.D.

BACHELOR PROGRAM  
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA 2017

**PENGEMBANGAN MESIN MAGNETIC PERPETUAL  
MOTION DENGAN ACUAN PADA VARIABEL  
CLEARANCE DAN SISTEM OVERHEAD CAMSHAFT**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**BENEDICTUS BAYU INDRAMADI**

NRP. 2112 100 105

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

1. Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, MSc.PhD (Pembimbing)  
NIP. 195106051978031002
2. Achmad Syaifudin, ST, M.Eng, PhD (Penguji I)  
NIP. 197909262005011001
3. Ir Julendra Bambang Ariatedja, MT. (Penguji II)  
NIP. 196807061999031004



**SURABAYA**

**JANUARI, 2017**

# **PENGEMBANGAN MESIN MAGNETIC PERPETUAL MOTION DENGAN ACUAN PADA VARIABEL CLEARANCE DAN SISTEM OVERHEAD CAMSHAFT**

**Nama Mahasiswa** : Benedictus Bayu Indrawadi  
**NRP** : 2112100105  
**Jurusan** : Teknik Mesin FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Prof. Ir. I N. Sutantra, M.Sc. Ph.D.

## **Abstrak**

*Pemakaian energi di Indonesia semakin bertingkat tiap tahunnya. Penggunaan energi yang berasal dari energi fosil sangatlah banyak. Keadaan ini akan membuat tipisnya persediaan energi fosil untuk masa mendatang, selain itu penggunaan bahan bakar fosil yang berlebih akan menyebabkan pemanasan global yang telah banyak dirasakan dampaknya pada masa-masa ini. Energi alternatif merupakan solusi yang tepat untuk mengurangi pemakaian bahan bakar fosil yang berdampak buruk bagi lingkungan. Magnet adalah suatu material yang memiliki daya magnet yang apabila didekatkan dengan objek tertentu dapat menimbulkan suatu gaya tarik-menarik atau tolak-menolak. Dengan mekanisme yang tepat, magnet-magnet dapat dirangkai untuk menghasilkan suatu gaya putar pada satu sumbu yang tetap. Sehingga akan diperoleh suatu motor penggerak yang dapat diaplikasikan dalam berbagai macam hal.*

*Pada penelitian ini, penulis akan melakukan beberapa tahap dalam perancangan mesin perpetual motion bertenaga magnet. Pada tahap awal dilakukan perancangan dan pembuatan mesin yang berdasar pada studi literatur yang ada. Setelah itu, akan dilakukan pengujian putaran dengan metode eksperimentalif pada clearance yang berbeda dan analisa pada penerapan sistem overhead camshaft. Pengujian tersebut dilakukan dengan cara merekam putaran yang terjadi pada alat. Video yang diperoleh kemudian akan diproses dan ditinjau dalam mode slow motion. Pada keadaan tersebut dapat diperoleh data berupa*

*displacement( $\theta$ ) pada waktu( $t$ ). Kemudian, data putaran akan diolah menjadi menjadi grafik displacement( $\theta$ ) terhadap waktu( $t$ ). Setelah itu trendline dari persamaan grafik tersebut dapat diolah menjadi persamaan kecepatan sudut dan percepatan sudut. Maka nilai resultan momen dapat diperoleh dengan menghitung momen inersia benda. Sehingga dapat diperoleh nilai daya putaran mesin dari data-data tersebut.*

*Dari penelitian ini diperoleh sebuah rancangan Mesin Perpetual Motion penggerak magnet dengan sistem overhead camshaft. Semakin kecil nilai clearance magnet pada sistem membuat nilai kecepatan putaran semakin tinggi. Penerapan sistem overhead chamshaft akan efektif diterapkan saat kecepatan sudut yang dihasilkan lebih dari 5.79 rad/s. Sedangkan daya putaran mesin rancangan akhir mampu menghasilkan 0.61 Watt.*

***Kata kunci: energi, perpetual motion, magnet, putaran.***

# DEVELOPMENT OF MAGNETIC PERPETUAL MOTION MACHINE CONSIDERING VARIABLE OF CLEARANCE AND OVERHEAD CAMSHAFT SYSTEM

**Nama Mahasiswa** : Benedictus Bayu Indrawadi  
**NRP** : 2112100105  
**Jurusan** : Teknik Mesin FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Prof. Ir. I N. Sutantra, M.Sc. Ph.D.

## Abstract

*Energy consumption in Indonesia is increased each year. The use of energy derived from fossil fuels are abundant. This situation will create a thin fossil energy supplies for the future, in addition to the use of fossil fuels will lead to excessive global warming that has been widely felt impact on this period. Alternative energy is the right solution to reduce the use of fossil fuels is bad for the environment. Magnet is a material that has a magnetism and when subjected to a certain object can lead to a force of attraction or repulsion. With the correct mechanisms, the magnets can be put together to produce a rotational force. So it will be obtained a driving force that can be applied in various things..*

*In this research, there will be several stages in the design of a magnetic perpetual motion machine. The first stage is to design and manufacture machines based on the study of the existing literature. After that, the machine will be tested by experimental methods at different clearance and analysis of the system overhead camshaft. Testing is done by recording the rotation motion.. The Video will be processed in slow motion mode. So it can be obtained data of displacement ( $\theta$ ) versus time ( $t$ ). Then, the data will be processed into the chart of displacement ( $\theta$ ) versus time ( $t$ ). After that, trendline of the graph can be processed into the equation the angular velocity and the angular acceleration. Then the torque value can be obtained by calculating the moment of inertia of the object. So the value of the power can be calculated by these data.*

*From this research, obtained a design of Magnetic Perpetual Motion Machine with overhead camshaft system. The smaller the value clearance magnet in system makes a higher rotation speed value. Implementation of the system overhead camshaft will go into effect when the angular velocity generated more than 5.79 rad / s. While the power of machine from final design is able to produce 0.61 Watt.*

***Keywords: energy, perpetual motion, magnet, rotation.***

## **KATA PENGANTAR**

Puji Syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas segala kelimpahan berkat kasih karunia dan rahmat-Nya bagi penulis sehingga penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Tugas akhir ini merupakan persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Atas bantuan berbagai pihak dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

- Kedua orang tua, Bapak Fx Sukamdiarto, dan Ibu Ingrid Ariyani DA, serta Dionysius Dias AN atas segala bantuannya dalam perbuatan dan doa.
- Yang terkasih, Maria Grace Angelina atas segala dukungan dan semangat yang diberikan dari awal sampai akhir pengerjaan.
- Bapak Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc, Ph.D selaku dosen pembimbing tugas akhir yang senantiasa sabar dan membina penulis dengan baik.
- Bapak Achmad Syaifudin, ST, M.Eng, Ph.D serta Bapak Ir Julendra Bambang Ariatedja, MT. selaku dosen penguji yang rela meluangkan waktu dan pikirannya dalam memberi masukan yang positif.
- Bapak Dani, Bapak Agus dan rekan-rekan di bengkel yang membantu penyelesaian pembuatan alat.
- Teman-teman satu angkatan M55 dalam masa-masa perkuliahan yang menyenangkan.
- Dan semua pihak yang sudah membantu saya dalam pembuatan Tugas Akhir ini namun tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik terhadap

penulis sangat diperlukan. Semoga Tugas Akhir ini dapat berguna bagi semua pihak yang membutuhkan.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tugas Akhir yang Mendukung .....	5
2.1.1 Pembuatan Alat Peraga <i>Magnetic Perpetual</i> <i>Circular Motion</i> .....	5
2.1.1.1 Konsep Dasar Magnet .....	5
2.1.1.2 Prinsip Kerja.....	8
2.1.1.3 Hasil yang didapat .....	9
2.2 Dasar Teori .....	9
2.2.1 Energi.....	9
2.2.1.1 Klasifikasi Energi .....	10
2.2.1.2 Pengertian <i>Perpetual Motion</i> .....	10
2.2.2 Gerak Melingkar.....	11
2.2.3 Momen Gaya .....	12
2.2.4 Momen Inersia.....	13
2.2.5 Hubungan Antara Torsi dengan Momen Inersia	14
2.2.6 Daya.....	15
2.2.7 Gaya pada Magnet .....	15
2.2.7.1 Permodelan Perhitungan Gaya pada Magnet.....	16
2.2.7.1.1 Model Gilbert .....	16

2.2.7.1.1.1 Gaya Antara 2 Luasan Magnet .....	17
2.2.7.1.1.2 Gaya Antara 2 Batang Magnet .....	17
2.2.7.1.2 Model Ampere.....	18
2.2.7.1.2.1 Magnetic dipole-dipole interaction.....	18
2.2.7.2 Variabel pada Gaya Magnet .....	21
<b>BAB III METODOLOGI .....</b>	<b>23</b>
3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian .....	23
3.2 Perancangan Produk .....	25
3.3 <i>Flowchart</i> Pengujian .....	26
3.4 <i>Flowchart</i> Perhitungan .....	29
<b>BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>33</b>
4.1 Desain Pembuatan .....	33
4.2 Proaes Pengadaan Komponen .....	33
4.3 Proses Pembuatan Alat .....	34
4.4 Pengujian Putaran Mesin .....	35
4.5 Pencatatan Data .....	35
4.6 Proses Perhitungan .....	37
4.6.1 Analisa pada <i>Displacement</i> dan Waktu .....	37
4.6.1.1 Analisa pada <i>Displacement</i> dan Waktu pada <i>Clearance</i> 25mm .....	38
4.6.1.2 Analisa pada <i>Displacement</i> dan Waktu pada <i>Clearance</i> 20mm .....	39
4.6.1.3 Analisa pada <i>Displacement</i> dan Waktu pada <i>Clearance</i> 10mm .....	39
4.6.2 Analisa pada Kecepatan dan Waktu .....	40
4.6.2.1 Analisa pada Kecepatan dan Waktu pada <i>Clearance</i> 25mm .....	40
4.6.2.2 Analisa pada Kecepatan dan Waktu pada <i>Clearance</i> 20mm .....	42
4.6.2.3 Analisa pada Kecepatan dan Waktu pada <i>Clearance</i> 10mm .....	43
4.6.3 Analisa pada Percepatan dan Waktu .....	44
4.6.3.1 Analisa pada Percepatan dan Waktu pada <i>Clearance</i> 25mm .....	45

4.6.3.2 Analisa pada Percepatan dan Waktu pada <i>Clearance</i> 20mm .....	46
4.6.3.3 Analisa pada Percepatan dan Waktu pada <i>Clearance</i> 10mm .....	47
4.6.4 Perhitungan Momen Inersia.....	48
4.6.4.1 Inersia dari Selimut Rotor.....	48
4.6.4.2 Inersia dari Lempengan Dalam Rotor.....	48
4.6.4.3 Inersia dari Magnet.....	49
4.6.4.4 Inersia Keseluruhan .....	49
4.6.4.5 Momen Inersia pada Pengujian dengan <i>Clearance</i> 25mm.....	49
4.6.4.6 Momen Inersia pada Pengujian dengan <i>Clearance</i> 20mm.....	50
4.6.4.7 Momen Inersia pada Pengujian dengan <i>Clearance</i> 10mm.....	51
4.6.5 Pembahasan dan Evaluasi.....	52
4.6.5.1 Pembahasan Prinsip Kerja Alat .....	52
4.6.5.2 Evaluasi Pengujian Alat.....	54
4.6.5.3 Analisa Perubahan Gaya Magnet Terhadap Perubahan Dimensi.....	55
4.6.5.4 Analisa Penerapan Sistem <i>Overhead Camshaft</i> .	58
4.6.6 Rancangan Alat .....	61
4.6.7 Analisa Perhitungan Daya Putaran Mesin .....	62
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>65</b>
5.1 Kesimpulan.....	65
5.2 Saran.....	65
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>67</b>
<i>Lampiran 1</i> .....	69
<i>Lampiran 2</i> .....	70
<i>Lampiran 3</i> .....	71
<b>BIODATA PENULIS.....</b>	<b>73</b>

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Magnet Ferrite.....	6
<b>Gambar 2. 2</b> Magnet Alnico .....	7
<b>Gambar 2. 3</b> Magnet Samarium Cobalt .....	7
<b>Gambar 2. 4</b> Magnet Neodymium .....	8
<b>Gambar 2. 5</b> (a) Arah Gaya Magnet (b) Posisi magnet.....	8
<b>Gambar 2. 6</b> Hasil Akhir Produk .....	9
<b>Gambar 2. 7</b> Skema Gerak Melingkar .....	12
<b>Gambar 2. 8</b> Skema Momen Gaya.....	12
<b>Gambar 2. 9</b> Gaya Antara Batang Magnet yang Berhadapan ....	17
<b>Gambar 2. 10</b> Gaya Magnet dipole .....	19
<b>Gambar 2. 11</b> Koordinat pada Analisa Magnetik dipole .....	20
<b>Gambar 3. 1</b> <i>Flowchart</i> Penelitian.....	24
<b>Gambar 3. 2</b> Perancangan Produk (a) 3d view(b) <i>Explode view</i> .	25
<b>Gambar 3. 3</b> <i>Flowchart</i> Pengujian.....	26
<b>Gambar 3. 4</b> Skema Pengamatan Data.....	27
<b>Gambar 3. 5</b> <i>Flowchart</i> Perhitungan.....	29
<b>Gambar 4.1</b> Desain Produk.....	33
<b>Gambar 4.2</b> Produk setelah dirakit .....	34
<b>Gambar 4.3</b> Spesifikasi video hasil pengujian.....	35
<b>Gambar 4.4</b> Proses Import video pada <i>Adobe Premiere Pro</i> .....	36
<b>Gambar 4.5</b> Proses Memperlambat video .....	36
<b>Gambar 4.6</b> Proses rekayasa kecepatan video .....	37
<b>Gambar 4.7</b> $\theta$ -t pada <i>clearance</i> 25mm.....	38
<b>Gambar 4.8</b> $\theta$ -t pada <i>clearance</i> 20mm.....	39
<b>Gambar 4.9</b> $\theta$ -t pada <i>clearance</i> 10mm.....	40
<b>Gambar 4.10</b> Grafik kecepatan sudut terhadap waktu pada <i>clearance</i> 25mm.....	41
<b>Gambar 4.11</b> Grafik kecepatan sudut terhadap waktu pada <i>clearance</i> 20mm.....	43
<b>Gambar 4.12</b> Grafik kecepatan sudut terhadap waktu pada <i>clearance</i> 10mm.....	44

<b>Gambar 4.13</b> Grafik percepatan sudut terhadap waktu pada <i>clearance</i> 25mm .....	45
<b>Gambar 4.14</b> Grafik percepatan sudut terhadap waktu pada <i>clearance</i> 20mm .....	46
<b>Gambar 4.15</b> Grafik percepatan sudut terhadap waktu pada <i>clearance</i> 10mm .....	47
<b>Gambar 4.16</b> Grafik Momen Torsi terhadap <i>Displacement</i> pada <i>Clearance</i> 25mm .....	50
<b>Gambar 4.17</b> Grafik Momen Torsi terhadap <i>Displacement</i> pada <i>Clearance</i> 20mm .....	51
<b>Gambar 4.18</b> Grafik Momen Torsi terhadap <i>Displacement</i> pada <i>Clearance</i> 10mm .....	52
<b>Gambar 4.19</b> Skema Bagian Alat .....	52
<b>Gambar 4.20</b> Arah dari Gaya Magnet.....	53
<b>Gambar 4.21</b> Grafik Perbandingan Momen Torsi .....	54
<b>Gambar 4.22</b> Skema Peletakan Magnet .....	58
<b>Gambar 4.23</b> Skema pada Kondisi Titik Mati Atas.....	59
<b>Gambar 4.24</b> Rancangan Alat.....	61

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Daftar Momen Inersia Beberapa Benda .....	14
---	----

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pemakaian energi di Indonesia semakin bertingkat tiap tahunnya. Energi tersebut banyak digunakan dalam berbagai kebutuhan seperti kebutuhan listrik dalam rumah tangga dan industri, kebutuhan transportasi dan sebagainya. Berdasarkan data yang diperoleh dari Pusdatin ESDM, penggunaan energi di sektor transportasi pada tahun 2011 mencakup 37,68% dari total konsumsi energi, menempati urutan kedua setelah sektor industri. Konsumsi energi di sektor transportasi pada tahun 2011 mencapai 277,36 juta SBM (setara barel minyak) dengan bahan bahan bakar yang terdiri dari 52% bensin; 21% minyak solar; 8% biosolar B5; 0,01% minyak diesel; 0,06% minyak bakar, 0,07% gas alam; 0,005% avgas dan 17% avtur . Dari data tersebut terlihat bahwa penggunaan energi yang berasal dari energi fosil sangatlah banyak. Keadaan ini akan membuat tipisnya persediaan energi fosil untuk masa mendatang, selain itu penggunaan bahan bakar fosil yang berlebih akan menyebabkan pemanasan global yang telah banyak dirasakan dampaknya pada masa-masa ini.

Energi alternatif merupakan solusi yang tepat untuk mengurangi pemakaian bahan bakar fosil yang berdampak buruk bagi lingkungan. Magnet adalah suatu material yang memiliki daya magnet yang apabila didekatkan dengan objek tertentu dapat menimbulkan suatu gaya tarik-menarik atau tolak-menolak.

Dengan mekanisme yang tepat, magnet-magnet dapat dirangkai untuk menghasilkan suatu gaya putar pada satu sumbu yang tetap. Sehingga akan diperoleh suatu motor penggerak yang dapat diaplikasikan dalam berbagai macam bidang. Salah satu penelitian yang telah dilakukan dalam bidang ini adalah Pembuatan Alat Peraga *Magnetic Perpetual Motion* oleh Ardinnata Iskhaq yang berasal dari Universitas Sebelas Maret. Hasil yang diperoleh adalah sebuah rancangan, mekanisme dan proses produksi mesin serta kecepatan putar mesin (rpm). Dalam

penelitian ini, akan dirancang mesin dengan mekanisme serupa yang dilengkapi dengan sistem *overhead camshaft* dan pengujian pada variabel *clearance* magnet yang berbeda. Dari pengujian-pengujian tersebut dapat diperoleh nilai optimal daya putaran yang dihasilkan dari berbagai macam variabel sehingga rancangan menjadi lebih baik.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Dari latar belakang diatas, maka pada penelitian ini akan dirancang bangun sebuah motor bertenaga magnet. Adapun permasalahan dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana perancangan motor bertenaga magnet dengan sistem *perpetual motion*?
2. Bagaimana pengaruh *clearance* magnet terhadap nilai dari putaran motor bertenaga magnet?
3. Bagaimana pengaruh sistem *overhead camshaft* yang diterapkan pada motor bertenaga magnet?
4. Berapa besar daya putaran yang diperoleh dari motor bertenaga magnet?

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah yang diberlakukan agar penelitian ini adalah :

1. Rancang bangun alat difokuskan pada fungsi alat itu sendiri.
2. Magnet yang digunakan adalah magnet permanen jenis neodymium.
3. Putaran dari mesin tidak dipengaruhi oleh lingkungan sekitar.
4. Besar gaya antara 2 magnet tidak dianalisa dengan persamaan elektromagnetik.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memperoleh rancangan motor bertenaga magnet dengan sistem *perpetual motion*.
2. Menguji pengaruh *clearance* magnet terhadap nilai dari putaran motor bertenaga magnet.
3. Menguji pengaruh sistem *overhead camshaft* yang diterapkan pada motor bertenaga magnet.
4. Menguji daya putaran yang diperoleh dari motor bertenaga magnet.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian adalah :

1. Motor tenaga magnet dapat diaplikasikan dalam alat transportasi sebagai solusi atas emisi gas buang mesin berbahan bakar fosil.
2. Motor tenaga magnet dapat diaplikasikan dalam pembangkit tenaga listrik yang tidak memiliki emisi gas buang.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tugas Akhir yang Mendukung**

##### **2.1.1 Pembuatan Alat Peraga *Magnetic Perpetual Circular Motion***

Tugas akhir ini dibuat dengan tujuan membuat sebuah alat peraga *magnetic perpetual circular motion* dan membahas proses produksi di dalamnya. *Magnetic perpetual circular motion* merupakan suatu alat peraga yang bekerja dengan mengubah energi yang timbul dari magnet menjadi energi mekanik atau gerak berputar pada rotor (Ishkaq, 2015).

##### **2.1.1.1 Konsep Dasar Magnet**

Magnet atau magnit adalah suatu obyek yang mempunyai suatu medan magnet. Kata magnet (magnit) berasal dari bahasa Yunani *magnítis líthos* yang berarti batu Magnesian. Pada saat ini, suatu magnet adalah suatu materi yang mempunyai suatu medan magnet. Materi tersebut bisa dalam berwujud magnet tetap atau magnet tidak tetap. Magnet yang sekarang ini ada hampir semuanya adalah magnet buatan. Magnet selalu memiliki dua kutub yaitu: kutub utara (north/ N) dan kutub selatan (south/ S). Walaupun magnet itu dipotong-potong, potongan magnet kecil tersebut akan tetap memiliki dua kutub. Magnet dapat menarik benda lain. Beberapa benda bahkan tertarik lebih kuat dari yang lain, yaitu bahan logam. Namun tidak semua logam mempunyai daya tarik yang sama terhadap magnet. Besi dan baja adalah dua contoh materi yang mempunyai daya tarik yang tinggi oleh magnet. Sedangkan oksigen cair adalah contoh materi yang mempunyai daya tarik yang rendah oleh magnet. Sifat-sifat kutub magnet adalah kutub-kutub sejenis jika didekatkan, akan tolak menolak. Sedangkan kutub-kutub tidak sejenis jika didekatkan, akan tarik menarik. Ruang di sekitar magnet yang masih dipengaruhi adanya gaya magnet disebut medan magnet. Kuat

medan magnet ditunjukkan oleh garis-garis magnet yang disebut fluks.

Magnet memiliki beberapa jenis dengan material pembentuk yang berbeda, diantara lain adalah :

- Magnet Ferrite

Magnet Ferrite merupakan magnet yang paling banyak digunakan dan diproduksi di dalam industri. Harga magnet ferrite lebih rendah karena oleh bahan baku murah, melimpah. Magnet ini memiliki ketahanan yang baik terhadap korosi. Ciri-ciri magnet ini memiliki warna hitam seperti yang terlihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Magnet Ferrite (Xiamen, 2010)

- Magnet Alnico

Jenis magnet ini dapat ditemukan di dalam alat-alat motor (kipas angin, speaker, mesin motor). Magnet ini juga sering dijumpai dalam lab sekolah bahkan dapat ditemukan pada sepatu kuda yang berfungsi untuk meningkatkan daya lari kuda. Magnet ini adalah magnet yang masih termasuk kategori berenergi rendah. Bentuk dari magnet alnico terlihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Magnet Alnico (lihemag, 2008)

- **Magnet Samarium Cobalt**  
Magnet Samarium-Cobalt seperti terlihat pada gambar 2.3 merupakan salah satu dari dua jenis magnet bumi yang langka, magnet ini bersifat permanen yang kuat yang terbuat dari paduan samarium dan kobalt. Jenis magnet ini dapat ditemukan di dalam alat-alat elektronik seperti VCD, DVD, VCR Player, Handphone, dan lain-lain. Magnet ini adalah magnet yang termasuk kategori berenergi sedang.



Gambar 2.3 Magnet Samarium Cobalt(Casox, 2014)

- **Magnet Neodymium**  
Magnet neodymium, merupakan magnet tetap yang paling kuat. Magnet neodymium (juga dikenal sebagai NdFeB, NIB, atau magnet Neo), merupakan sejenis magnet tanah jarang, terbuat dari campuran logam neodymium. Ciri-ciri utamanya adalah magnet ini berwarna putih mengkilap seperti terlihat pada gambar 2.4. Warna ini memang sengaja disepuhkan sebagai lapisan pelindung di bagian

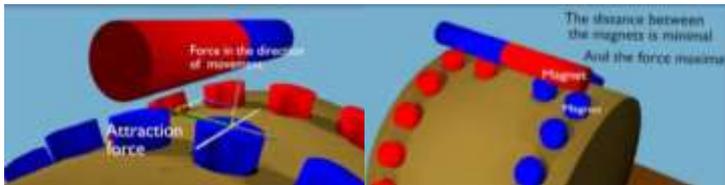
luar magnet Neodymium karena sifat magnet ini yang rentan korosi.



Gambar 2.4 Magnet Neodymium  
(Lena, 2016)

### 2.1.1.2 Prinsip Kerja

Pada Gambar 2.5 (a) dibawah ini menunjukkan gaya tarik menarik antara magnet rotor dengan ujung magnet stator yang memiliki kutub berbeda yang menjadi prinsip kerja dari *v-gate* magnet motor. Tanda panah warna hijau menunjukkan arah medan magnet bekerja antara dua kutub magnet, sedangkan tanda panah warna ungu menunjukkan arah putaran rotor. Semakin dekat jarak antara kutub-kutub magnet maka medan magnet akan semakin besar, sehingga rotor akan berputar dari pangkal *v-gate* menuju ke ujung *v-gate* karena jarak ujung *v-gate* ke ujung kutub magnet stator lebih kecil daripada jarak antara pangkal *v-gate* ke ujung kutub magnet stator.



(a)

(b)

Gambar 2.5 (a) Arah Gaya Magnet  
(b) Posisi Magnet

Seperti pada Gambar 2.5 (b), ketika posisi magnet stator mencapai ujung *v-gate*, gaya yang dihasilkan antar magnet akan semakin besar karena jarak antara kutub magnet adalah minimal atau paling dekat. Akibat besarnya gaya magnet ini akan menghambat putaran rotor, oleh karena itu area ini disebut dengan *sticky spot*.

### 2.1.1.3 Hasil yang Didapat

Hasil yang didapat dari jurnal ini adalah sebuah rancangan *Magnetic perpetual circular motion* menggunakan tipe *V Gate* dan menggunakan jenis magnet neodmium seperti pada gambar 2.6. Pada rotor menggunakan magnet  $\varnothing$  20 mm dan tebal 2 mm. Pada pengujian manual, rotor memiliki kecepatan 60 rpm atau  $v = 0.565$  m/s. Hasil perhitungan diperoleh diameter poros sebesar 2.51 mm, sedangkan diameter poros rotor yang digunakan yaitu sebesar 5 mm.



Gambar 2.6 Hasil Akhir Produk

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Energi

Energi adalah suatu yang bersifat abstrak yang sukar dibuktikan tetapi dapat dirasakan adanya. Energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja (*energy is the capacity for doing work*).

### 2.2.1.1 Klasifikasi Energi

Secara garis besar energi dapat diklasifikasikan menjadi dua, yakni :

#### 1. Energi dalam Transisi

Energi dalam transisi( *transitional energy*) adalah energi yang sedang bergerak melintasi batas sistem.

#### 2. Energi tersimpan

Energi tersimpan(*stored energy*) adalah energi yang tersimpan dalam suatu sistem atau massa, biasanya berbentuk massa atau medan gaya, biasanya mudah dikonversi menjadi energi transisi.

### 2.2.1.2 Pengertian *Perpetual Motion* ( Gerak Abadi )

Perpetual motion pada dasarnya memiliki 3 bagian (Pudjanarsa,2008).

- Perpetual Motion I

*A hyphothetical machine that creates its own energy.*

- Perpetual Motion II

*The continual operation of machine that utilized the heat extracted from a single reservoir.*

- Perpetual Motion III

*in the absence of dissipation, a device could be continued motion without violating either of the two laws of thermodynamics because such a process does not involve heat and work.*

Gerak abadi adalah gerak yang terus menerus bekerja tanpa sumber energi dari luar. Hal ini tidak mungkin untuk pernah dicapai karena gesekan dan sumber kehilangan energi. Sebuah mesin gerak abadi adalah mesin hipotetis yang dapat melakukan pekerjaan tanpa batas tanpa sumber energi. Mesin seperti ini tidak mungkin ada, karena akan melanggar hukum pertama atau hukum kedua termodinamika . Hukum-hukum termodinamika ini berlaku meskipun pada skala terbesar: misalnya, gerakan atau rotasi benda langit seperti planet dapat muncul terus-menerus,

tetapi sebenarnya mengalami banyak gaya seperti angin surya , resistensi medium antar bintang, gravitasi , radiasi termal dan elektro radiasi -magnetic , dan akan berakhir pada suatu waktu.

Dengan demikian, mesin yang mengekstrak energi dari sumber yang tampaknya abadi tidak akan beroperasi tanpa batas waktu, karena mereka didorong oleh energi yang tersimpan dalam sumber, yang akhirnya akan habis. Sebuah contoh umum adalah perangkat yang didukung oleh arus laut, yang energinya akhirnya berasal dari Matahari, yang dengan sendirinya akhirnya akan terbakar.

### 2.2.2 Gerak Melingkar

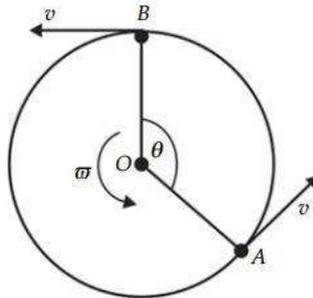
Gerak melingkar adalah gerak suatu benda yang membentuk suatu lintasan lingkaran yang mengelilingi sebuah sumbu yang tetap dengan skema seperti pada gambar 2.9. Perubahan posisi dalam gerak melingkar dinyatakan dalam sudut ( $\theta$ ) dengan satuan derajat. Kecepatan yang diukur dalam gerak melingkar adalah kecepatan sudut ( $\omega$ ) yaitu frekuensi sudut suatu benda dan sumbu putarnya dengan satuan rad/s. Sedangkan perubahan kecepatan yang dimiliki gerak melingkar adalah percepatan sudut ( $\alpha$ ) dengan satuan rad/s<sup>2</sup>. Persamaan yang menyatakan hubungan dalam gerak melingkar adalah (Hibbeler, 2013) :

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad (2.1)$$

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (2.2)$$

Dimana :

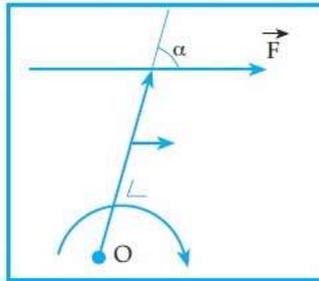
$\theta$	=	Sudut tempuh (rad)
$\omega$	=	Kecepatan sudut (rad/s)
$\alpha$	=	Percepatan sudut (rad/s <sup>2</sup> )



Gambar 2.7 Skema Gerak Melingkar

### 2.2.3 Momen Gaya

Momen gaya merupakan besaran yang dipengaruhi oleh gaya dan lengan. Besaran yang dapat menyebabkan benda berotasi itulah yang dinamakan momen gaya atau torsi. Benda dapat melakukan gerak rotasi karena adanya momen gaya. Momen gaya timbul akibat gaya yang bekerja pada benda tidak tepat pada pusat massa seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.10.



Gambar 2.8 Skema Momen Gaya

Momen gaya dilambangkan dengan “ $\tau$ ” gambar momen gaya diatas menyatakan sebuah gaya  $F$  sedang mengadakan momen gaya terhadap titik  $O$  dengan lengan gaya  $L$ , sehingga titik  $O$

berputar dengan arah putar searah putaran jarum jam. Momen gaya  $F$  terhadap titik  $O$  didefinisikan sebagai hasil kali silang antara lengan gaya dan gaya  $F$ , seperti dalam persamaan berikut :

$$\vec{\tau} = \vec{L} \cdot \vec{F} \quad (2.3)$$

Besar momen gaya :

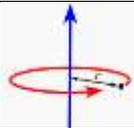
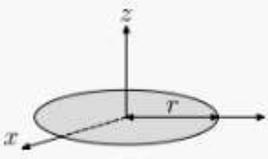
$$\tau = L \cdot \sin \alpha \cdot F \quad \text{atau} \quad \tau = L \cdot \sin \alpha \cdot F \quad (2.4)$$

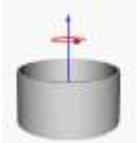
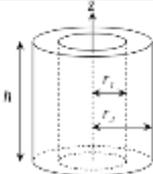
Dimana :

$F$	=	Besar gaya (N)
$L$	=	Panjang lengan gaya (m)
$\tau$	=	Besar momen gaya (N.m)
$\alpha$	=	Sudut antara arah lengan dan arah gaya

#### 2.2.4 Momen Inersia

Momen inersia adalah ukuran kelembaman suatu benda untuk berotasi terhadap porosnya. Besaran ini adalah analog rotasi daripada massa. Pada tabel 2.1 terdapat daftar momen inersia dari beberapa benda tegar yang digunakan dalam perhitungan.

Benda	Gambar	Momen Inersia
Titik Massa		$I = mr^2$
Lempengan Lingkaran Solid		$I_z = \frac{mr^2}{2}$ $I_x = I_y = \frac{mr^2}{4}$

Silinder Pejal		$I = mr^2$
Silinder Pejal		$I_z = \frac{m}{2} (r_1^2 + r_2^2)$

Tabel 2.1 Daftar Momen Inersia Beberapa Benda (Serway, 1986)

### 2.2.5 Hubungan Antara Torsi Dengan Momen Inersia

Hukum Newton II menyatakan bahwa percepatan dari suatu benda akan sebanding dengan jumlah gaya yang bekerja pada benda tersebut dan berbanding terbalik dengan massanya. Sehingga memiliki persamaan :

$$\Sigma F = m \cdot a \quad (2.5)$$

Dimana :

$\Sigma F$  = Resultan gaya pada suatu benda

$M$  = Massa benda (kg)

$a$  = Percepatan benda ( $\frac{m}{s^2}$ )

Persamaan tersebut merupakan persamaan dalam pergerakan benda yang terjadi secara linear. Untuk benda yang bergerak secara rotasi atau berputar, Resultan yang ditinjau adalah resultan dari torsi atau momen gaya. Momen gaya ini akan berbanding lurus dengan momen inersia benda dan percepatan sudut yang dimilikinya. Maka persamaan hukum Newton II dalam gerak melingkar adalah :

$$\Sigma M = I \cdot \alpha \quad (2.6)$$

Dimana :

$\Sigma M$  = Resultan momen gaya suatu benda (Nm)

$I$	=	Momen inersia benda ( $\text{Kgm}^2$ )
$\alpha$	=	Percepatan sudut ( $\text{rad/s}$ )

### 2.2.6 Daya

Daya adalah kecepatan melakukan kerja. Daya sama dengan jumlah energi yang dihabiskan per satuan waktu. Dalam sistem SI, satuan daya adalah joule per detik (J/s), atau watt untuk menghormati James Watt, penemu mesin uap abad ke-18. Daya adalah besaran skalar.

Daya keluaran dari putaran motor adalah hasil perkalian antara torsi yang dihasilkan motor dengan kecepatan sudut dari tangkai keluarannya (Halliday, 1974).

$$P = \tau \cdot \omega \quad (2.7)$$

Dimana :

$P$	=	Daya (Watt)
$\tau$	=	Momen Gaya (N.m)
$\omega$	=	Kecepatan Sudut ( $\text{rad/s}$ )

Satuan lain yang digunakan dalam perhitungan daya adalah *horsepower* atau daya kuda. Dengan persamaan berikut (Deutschman, 1975) :

$$hp = \frac{\tau \cdot n}{63000} \quad (2.8)$$

Dimana :

$hp$	=	Daya kuda ( <i>horsepower</i> )
$\tau$	=	Momen gaya (lb.in)
$n$	=	rotasi per menit (rpm)

### 2.2.7 Gaya pada Magnet

Magnet memiliki dua kutub yang berbeda yaitu kutub positif dan kutub negatif. Jika dua buah magnet didekatkan maka akan timbul suatu gaya Tarik menarik maupun tolak menolak. Gaya Tarik menarik terjadi saat dua kutub yang sama berhadapan

dan gaya tolak menolak timbul saat dua kutub yang berdeda berhadapan.

Gaya yang dihasilkan magnet berdasar dari suatu ketetapan elektromagnetis. Kekuatan Tarik suatu magnet disebabkan arus listrik mikroskopis yang mengorbit pada suatu inti dan partikel dasar seperti elektron yang membentuk material. Keduanya dimodelkan dengan suatu *loop* kecil yang disebut magnetic dipoles yang memproduksi medan magnetnya sendiri dan pengaruh dari medan magnet eksternal.

Perumusan gaya antar magnet yang mendasar adalah hukum Coulomb. Hukum Coulomb menyatakan gaya antara dua objek kecil yang dipisahkan daerah vacuum atau ruang kosong besarnya sebanding dengan perkalian nilai kedua muatan dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak keduanya (Hayt, 2001).

$$F = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{R^2} \quad (2.9)$$

Dimana :

- Q1 dan Q2 = Besarnya muatan positif atau negative
- R = Jarak kedua objek
- K = Konstanta Coulomb ( $8.987 \times 10^9 \text{N m}^2 \text{C}^{-2}$ )

### 2.2.7.1 Permodelan Perhitungan Gaya pada Magnet

Ada 2 permodelan dalam menghitung medan magnet dan gaya antar magnet. Perhitungan pertama dengan menggunakan model Ampere dan perhitungan lainnya menggunakan model Gilbert.

#### 2.2.7.1.1 Model Gilbert

Model Gilbert mengasumsi bahwa gaya antara magnet berasal dari muatan magnet yang terletak pada dekat kutub. Secara fisik hal ini tidak tepat namun model ini menghasilkan perkiraan hasil yang baik bahkan saat medan magnet memiliki keadaan yang lebih kompleks.

Perhitungan suatu gaya Tarik-menarik atau tolak menolak merupakan hal yang sangat kompleks, karena bergantung pada

bentuk, magnetisasi, orientasi dan pemisah magnet. Model gilbert bergantung pada suatu pernyataan dimana *magnetic charge* terdistribusi di sekitar kutub magnet.

### 2.2.7.1.1.1 Gaya Antara 2 Luasan Magnet

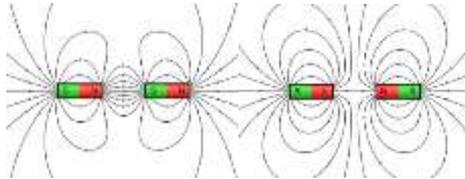
Gaya antara 2 luasan magnet yang berdekatan dinyatakan dalam persamaan ini (Anonym, 2012).

$$F = \frac{\mu_0 \cdot H^2 \cdot A}{2} = \frac{B^2 \cdot A}{2\mu_0} \quad (2.10)$$

Dimana :

- A = Luasan permukaan ( $m^2$ )
- H = Medan Magnet (A/m)
- $\mu_0$  = Permeabilitas ruang ( $4\pi \times 10^{-7} \text{T.m/A}$ )
- B = Densitas flux (T)

### 1.2.7.1.1.2 Gaya Antara 2 Batang Magnet



Gambar 2.9 Gaya Antara Batang Magnet yang Berhadapan

Gaya diantara 2 magnet silinder yang identik dengan peletakan yang berhadapan seperti pada gambar 2,11 dirumuskan dengan (Schill, 2003):

$$F = \left( \frac{B_0^2 \cdot A^2 (L^2 + R^2)}{\pi \cdot \mu_0 \cdot L^2} \right) \left( \frac{1}{x^2} + \frac{1}{(x+2L)^2} - \frac{2}{(x+L)^2} \right) \quad (2.11)$$

Dimana :

- $B_0$  = Densitas flux dekat dengan kutub (T)
- A = Luasan masing-masing kutub ( $m^2$ )
- L = Panjang tiap magnet (m)

$x$  = Jarak antara dua magnet (m)

Saat dua magnet silinder memiliki radius  $R$  dan tinggi  $h$  dengan magnetic dipole yang berada dalam satu sumbu dan jarak keduanya lebih besar dari batasan tertentu, maka gaya magnet keduanya dapat dirumuskan :

$$F(x) = \left(\frac{\pi\mu_0}{4}\right) M^2 R^4 \left(\frac{1}{x^2} + \frac{1}{(x+2h)^2} - \frac{2}{(x+h)^2}\right) \quad (2.12)$$

Dimana  $M$  merupakan magnetisasi dan  $x$  adalah jarak kedua magnet. Ketika nilai dari  $x$  sangat kecil, hasil yang didapatkan tidak begitu akurat seiring bertambahnya besar gaya saat jarak magnet mendekati nilai nol.

Ketika nilai  $h \ll x$  maka didapatkan persamaan.

$$F(x) = \left(\frac{3\pi\mu_0}{2}\right) M^4 R^4 h^2 \left(\frac{1}{x^4}\right) \quad (2.13)$$

### 2.2.7.1.2 Model Ampere

Model lain dalam perhitungan gaya magnet adalah dengan model Ampere, dimana model memiliki persamaan yang lebih kompleks sehingga terkadang tidak dapat diselesaikan secara analitis namun menggunakan metode numerik. Ilmuwan Perancis, André Marie Ampère menemukan bahwa sifat magnetis yang dihasilkan oleh magnet permanen dan electromagnet adalah jenis yang sama. Karena itu, gaya dari magnet permanen memiliki persamaan yang indentik dengan gaya electromagnet. (Vokoun, 2009)

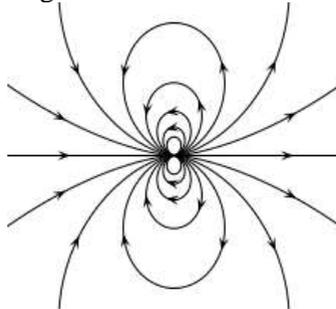
#### 2.2.7.1.2.1 Magnetic dipole-dipole interaction

Saat beberapa magnet memiliki ukuran dan jarak satu dengan yang lain cukup kecil, maka permodelan magnet tersebut dapat berupa titik atau magnetic dipole yang memiliki magnetic moment  $m_1$  dan  $m_2$  seperti pada gambar 2.12. Medan magnet dari magnetic dipole dalam notasi vector dinyatakan sebagai :

$$B(m, \mathbf{r}) = \left(\frac{\mu_0}{4\pi r^3}\right) (3(m \cdot \hat{\mathbf{r}})\hat{\mathbf{r}} - m) + \frac{2\mu_0}{3} m\delta^3(\mathbf{r}) \quad (2.14)$$

Dimana :

- $\mathbf{B}$  = Medan  
 $\mathbf{r}$  = Vektor posisi dipole menuju medan yang diukur  
 $r$  = jarak absolut antara dipole  
 $\hat{\mathbf{r}}$  =  $\mathbf{r}/r$  unit vektor parallel  $\mathbf{r}$   
 $\mathbf{m}$  = Momen dipole (vektor)  
 $\mu_0$  = permeabilitas ruang kosong  
 $\delta^3$  = fungsi delta 3 dimensi



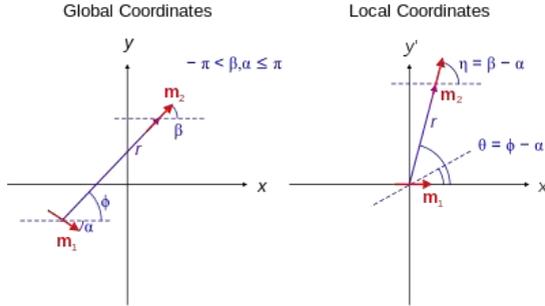
Gambar 2.10 Gaya Magnet dipole

Ketika titik koordinat sistem dari titik-titik tersebut dipusatkan pada  $m_1$  dan diputar hingga sumbu z-axis searah dengan  $m_1$ , maka persamaan sebelumnya dapat disederhanakan menjadi. :

$$B_z(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} m_1 \left( \frac{3\cos^2\theta - 1}{r^3} \right) \quad (2.15)$$

$$B_x(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} m_1 \left( \frac{3\cos\theta\sin\theta}{r^3} \right) \quad (2.16)$$

Dimana  $r$  dan  $\theta$  berasal dari referensi dasar  $m_1$  dan berorientasi pada  $m_1$  yang searah dengan sumbu z. Keadaan ini disebut *local coordinates* seperti terlihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.11 Kordinat pada Analisa Magnetik dipole

Sedangkan besarnya gaya pada magnetic dipole dihitung berdasarkan besarnya medan magnet dan menggunakan notasi vektor seperti di bawah ini :

$$F(\mathbf{r}, m_1 m_2) = \frac{3\mu_0}{4\pi r^5} \left[ (m_1 \cdot \mathbf{r}) m_2 + (m_2 \cdot \mathbf{r}) m_1 + (m_1 \cdot m_2) \mathbf{r} - \frac{5(m_1 \cdot \mathbf{r})(m_2 \cdot \mathbf{r})}{r^3} \mathbf{r} \right] \quad (2.17)$$

Dimana  $\mathbf{r}$  adalah jarak(vektor) dari momen dipole  $m_1$  ke momen dipole  $m_2$  dengan  $r = \|\mathbf{r}\|$ . Gaya yang bekerja pada  $m_1$  memiliki arah yang berlawanan. Sedangkan persamaan akhir yang dinyatakan dalam global coordinate :

$$F(\mathbf{r}, \alpha, \beta) = -\frac{3\mu_0}{4\pi r^5} \frac{m_2 m_1}{r^4} [2 \cos(\phi - \alpha) \cos(\phi - \beta) - \sin(\phi - \alpha) \sin(\phi - \beta)] \quad (2.18)$$

$$F(\mathbf{r}, \alpha, \beta) = -\frac{3\mu_0}{4\pi r^5} \frac{m_2 m_1}{r^4} \sin(2\phi - \alpha - \beta) \quad (2.19)$$

### 2.2.7.2 Variabel pada Gaya Magnet

Setelah persamaan-persamaan diatas diketahui, terlihat bahwa gaya yang ditimbulkan oleh magnet memiliki kondisi atau keadaan tertentu untuk menyatakan persamaan dari gaya pada medan magnet tersebut. Sehingga persamaan yang satu tidak bisa digunakan untuk kondisi yang berbeda.

Pada dasarnya gaya Coulomb dapat digunakan saat magnet diasumsikan sangat kecil dan jarak yang memisahkan berupa ruang kosong. Selain itu posisi kedua magnet harus berhadapan agar persamaan dapat berlaku. Model ampere menyatakan bahwa permodelan gaya magnet indentik dengan gaya yang dihasilkan electromagnet. Magnet yang dimodelkan sebagai titik memiliki bentuk persamaan yang berbeda ketika posisi magnet berada pada 3 sumbu, persamaan juga berubah saat arah dari dipole bervariasi.

Model gilbert merumuskan gaya 2 magnet silinder berupa bentuk 3 dimensi, namun posisi dan arah kutub berada pada satu sumbu. Meski demikian, penggunaan persamaan ini banyak dibatasi.

Masih terdapat berbagai persamaan dari gaya magnet, mulai dari magnet yang dimodelkan sebagai garis dengan posisi paralel, magnet dalam bentuk luasan maupun bentuk ruang 3 dimensi. Kondisi magnet dalam keadaan statis atau bergerak dengan kecepatan pada suatu sumbu juga akan mengubah persamaan secara keseluruhan.

Secara garis besar, gaya pada magnet permanen ditentukan oleh 2 variabel seperti pada persamaan 2.9.

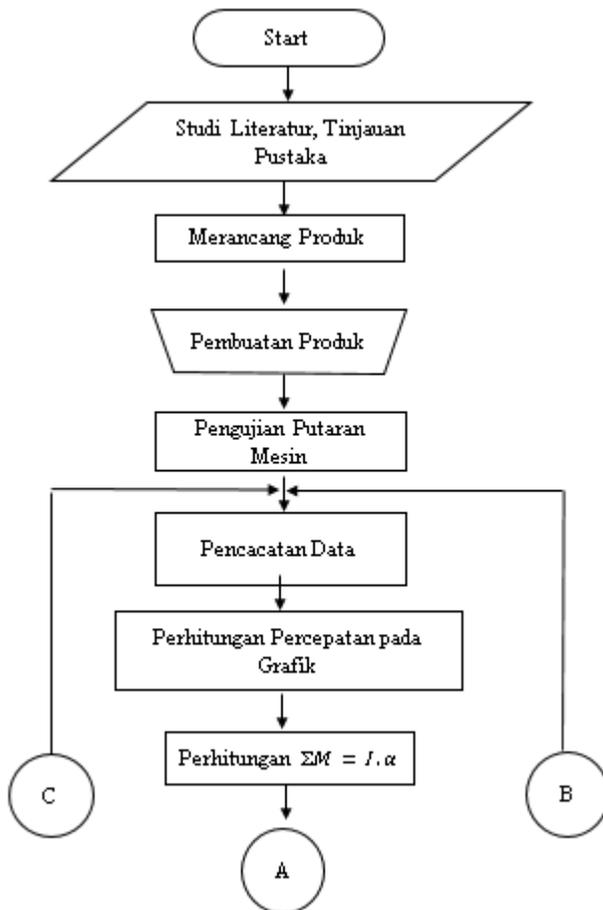
- Besar Muatan

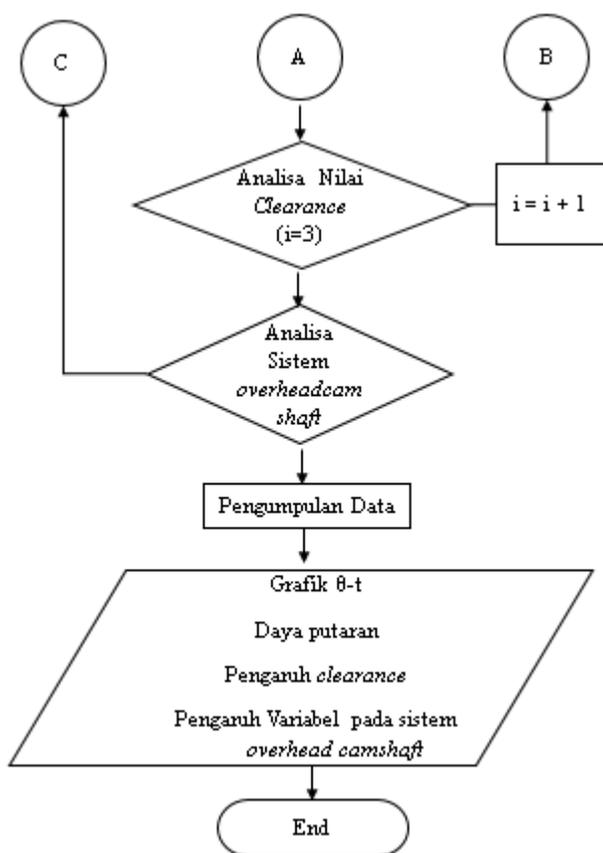
Magnet permanen memiliki nilai besar muatan yang berbeda pada setiap jenisnya. Dari persamaan diatas terlihat bahwa besar muatan ( $Q$ ) berbanding lurus dengan besarnya gaya magnet. Sehingga untuk memperbesar gaya magnet dibutuhkan nilai muatan yang lebih besar pula.

- Jarak antar Magnet  
Besarnya jarak magnet sangat menentukan nilai dari gaya magnet itu sendiri. Perbedaan kondisi jarak satu dengan yang lain memiliki persamaan yang berbeda pula. Namun, secara keseluruhan terlihat bahwa jarak berbanding terbalik dengan nilai gaya. Sehingga untuk memperbesar gaya pada magnet, jarak antar keduanya dapat diubah menjadi semakin kecil.

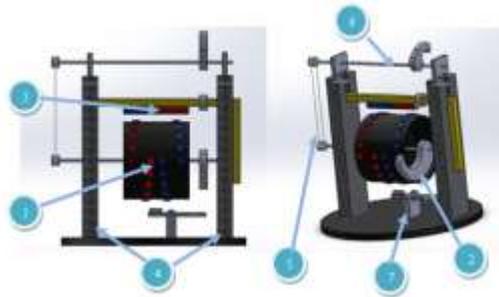
## BAB III METODOLOGI

### 3.1 *Flowchart* Penelitian

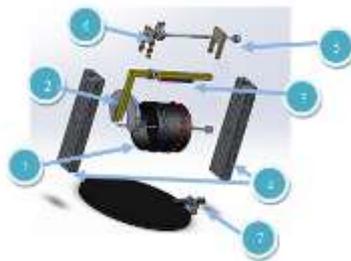


Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

### 3.2 Perancangan Produk



(a)



(b)

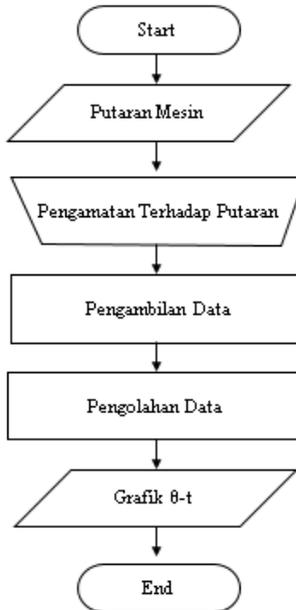
Gambar 3.2 Perancangan Produk pada (a) 3d view (b) *Explode view*

Keterangan Gambar :

1. Magnet Rotor
2. Nok
3. Magnet Stator
4. Penyangga
5. *Belt dan pulley*
6. Sistem *overheadcamshaft*
7. Stator bawah

Pada gambar 3.1 terlihat perancangan produk berupa Mesin *perpetual motion* tenaga magnet beserta dengan keterangan pada komponen-komponen yang dimilikinya. Untuk dimensi dan ukuran detail dari mesin terdapat pada lampiran.

### 3.3 Flowchart Pengujian

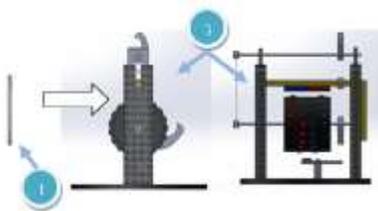


Gambar 3.3 *Flowchart* Pengujian

- Pengamatan Terhadap Putaran

Putaran yang dihasilkan oleh mesin diamati dan direkam menggunakan kamera pada *handphone*. File yang didapatkan berupa video dengan format mp4 dengan resolusi 720x480p dalam 24 fps. Seperti terlihat pada gambar 3.2 (a), pengamatan dilakukan dengan perekaman video oleh *handphone* dengan posisi yang sejajar dengan mesin. Hal ini dilakukan agar gerak translasi yang terjadi secara vertikal oleh magnet stator dapat terekam secara

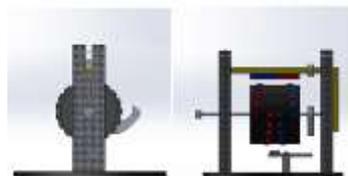
sempurna. Pada gambar 3.2 (b) terlihat skema pengujian dengan variabel *clearance* dalam 3 kali pengujian yaitu jarak 10mm, 20mm dan 25mm. Pada gambar 3.4 (c) terlihat skema pengujian dengan perubahan variabel pada penerapan sistem *overheadcamshaft*.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3.4 Skema Pengujian Data (a) Dengan posisi perekaman video (b) Dengan variabel jarak (c) tanpa sistem *camshaft*

Keterangan Gambar :

1. Handphone untuk merekam putaran mesin.
2. Mesin yang diamati.
3. Variabel pada jarak

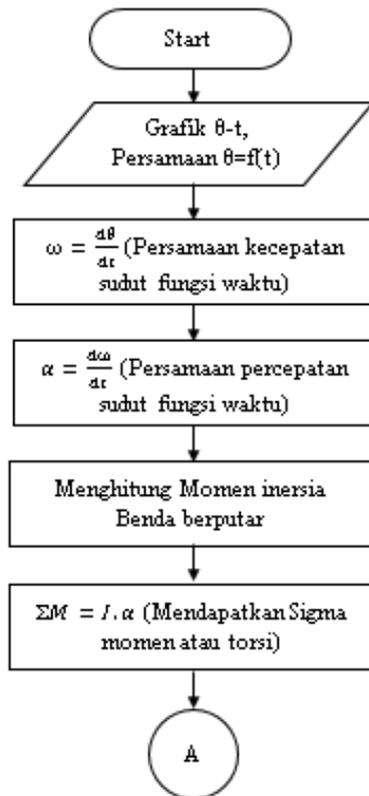
- Pengambilan Data

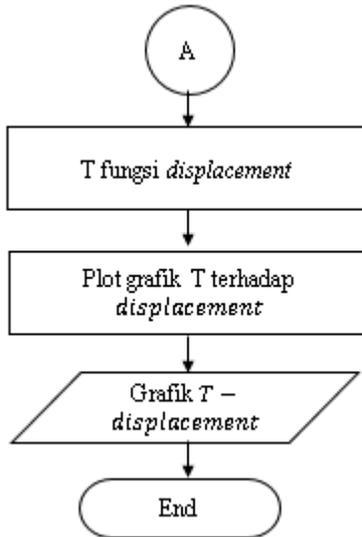
File yang berisi video putaran mesin akan dibuka pada aplikasi *Adobe Premiere Pro CC 2015*. Aplikasi ini digunakan dengan pertimbangan dapat mengolah video dan memutarinya dalam keadaan *slow motion 1/100 second*. Data yang dicatat adalah waktu tempuh mesin setiap perubahan *displacement* . Sehingga didapatkan data berupa *displacement* ( $\theta$ ) dan waktu tempuh putaran ke n ( $t$ ).

- Pengolahan Data

Data berupa nilai dari *displacement* ( $\theta$ ) dan waktu tempuh ( $t$ ) kemudian diproses dalam aplikasi *Excel*. Pada tahap ini, data-data yang ada akan diplot ke dalam suatu grafik dimana sumbu x berupa waktu( $t$ ) dan sumbu y berupa putaran ( $\theta$ ). Setelah grafik terbentuk, *Excel* akan memproses data-data yang ada hingga diperoleh suatu persamaan grafik.

### 3.4 Flowchart Perhitungan





Gambar 3.5 *Flowchart* Perhitungan

Pada penelitian ini, untuk memperoleh daya putaran dari mesin diperlukan data pendukung berupa grafik putaran mesin ( $\theta$ ) terhadap waktu ( $t$ ). Berikut langkah-langkah perhitungan yang akan dilakukan :

1. Menyiapkan data pendukung seperti dimensi mesin yang berputar, grafik putaran mesin ( $\theta$ ) terhadap waktu ( $t$ ) yang diperoleh saat pengujian serta persamaan putaran mesin ( $\theta$ ) fungsi waktu ( $t$ ) yang diperoleh dari aplikasi Matlab.
2. Menghitung persamaan kecepatan sudut ( $\omega$ ) fungsi waktu ( $t$ ) dengan menggunakan rumus diferensial persamaan putaran mesin ( $\theta$ ) terhadap fungsi waktu ( $t$ ).
3. Menghitung persamaan percepatan sudut ( $\alpha$ ) fungsi waktu ( $t$ ) dengan menggunakan rumus diferensial persamaan kecepatan sudut mesin ( $\omega$ ) terhadap fungsi waktu ( $t$ ).

4. Menghitung momen inersia(I) dari bentuk mesin yang berputar menggunakan rumus yang telah disediakan pada tabel 2.1.
5. Setelah memperoleh nilai percepatan sudut ( $\alpha$ ) dan nilai dari momen inersia, maka akan didapatkan nilai sigma momen atau torsi yang diperoleh dari persamaan yang sudah disediakan.
6. Nilai dari torsi akan diperoleh berdasarkan perbedaan *displacement*.
7. Setelah perhitungan tersebut, akan diperoleh nilai Torsi berdasarkan grafik Torsi (N) terhadap *displacement*(sudut).

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

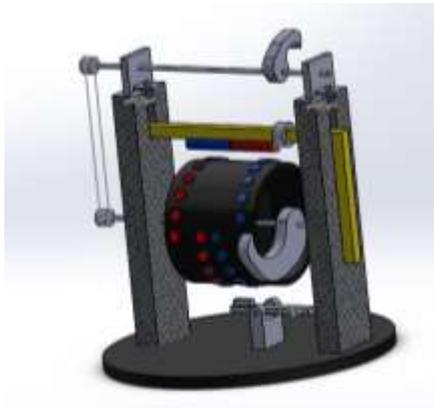
## **BAB IV**

### **ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada tugas akhir ini akan dilakukan rancang bangun dan analisa putaran Mesin *Perpetual Motion* penggerak Magnet dengan pengujian melalui metode eksperimentatif.

#### **4.1 Desain Pembuatan**

Desain dari Mesin *Perpetual Motion* penggerak Magnet dibuat dengan menggunakan *software Solidworks 2015 Student Edition*. Didapatkan hasil desain alat pada gambar 4.1 sebagai berikut :



Gambar 4.1 Desain Produk

#### **4.2 Proses Pengadaan Komponen**

Komponen yang dibuat berasal dari pembelian bahan dari berbagai toko material kemudian diproses secara manufaktur pada *workshop* Bapak Dani Susanto di daerah Ketintang Surabaya. Komponen tersebut antara lain adalah poros, *Base Plate*, batang penyangga, triplek, plat alumunium. Selain komponen yang diproses secara manufaktur di *workshop*, terdapat komponen yang sudah dibeli dalam bentuk jadi yaitu magnet neodmium.

### 4.3 Proses Pembuatan Alat

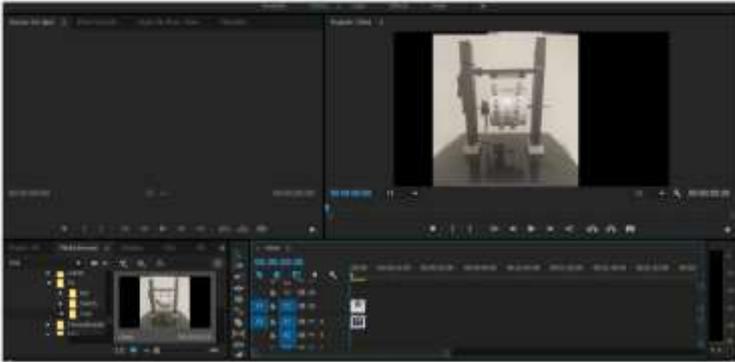
Proses pembuatan alat menghasilkan produk akhir seperti terlihat pada gambar 4.2. Langkah-langkah dalam pembuatan alat mengacu pada tugas akhir yang terdahulu dengan judul Pembuatan Alat Peraga *Magnetic Circular Perpetual Motion* (Ishkaq, 2015) seperti berikut.

1. Pembuatan alas.
2. Proses pembuatan tiang penyangga 1 dan tiang penyangga 2.
3. Proses pembuatan stator bawah.
4. Proses pembuatan rotor  $\emptyset$
5. Proses pembuatan kayu stator atas.
6. Proses pembuatan nok.
7. Proses pembuatan penutup rotor.
8. Proses pembuatan poros.
9. Proses pengeboran.
10. Proses Perakitan Perakitan.



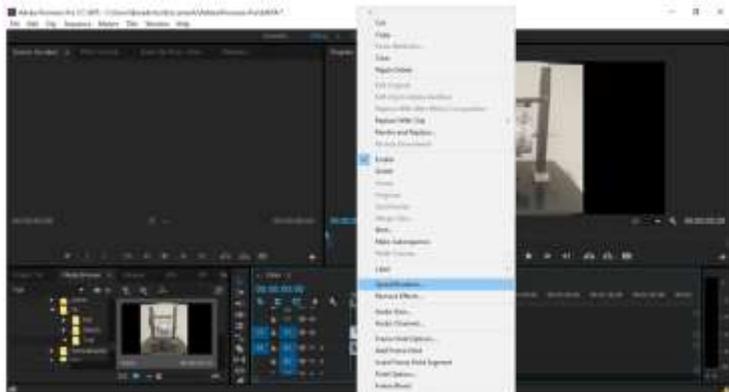
Gambar 4.2 Produk setelah dirakit





Gambar 4.4 Proses Import video pada *Adobe Premiere Pro*

Langkah selanjutnya adalah dengan melakukan rekayasa pada waktu dalam video. Rekayasa ini dilakukan dengan memperlambat video agar nilai *displacement* putaran ( $\theta$ ) dan waktu tempuh putaran ( $t$ ) mudah untuk dicatat. Proses ini dilakukan seperti pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Proses Memperlambat video

Untuk memperlambat video harus ditentukan nilai dari *speed* video tersebut. Perhitungan dalam penentuan *speed* video:

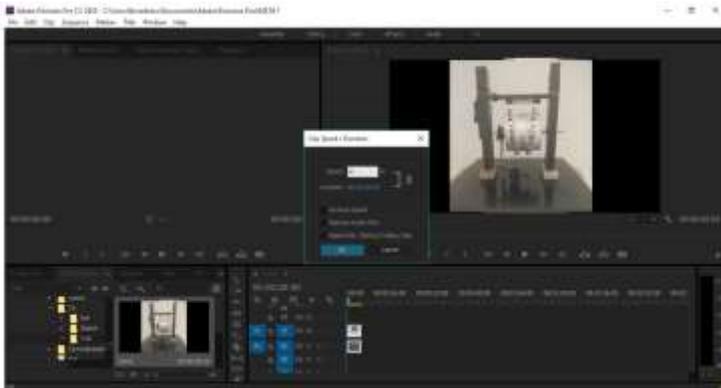
$$\begin{aligned} \text{Framerate Video} &= 30 \frac{\text{frame}}{\text{second}} \\ \text{Output pembacaan yang diinginkan} &= 1.2 \frac{\text{frame}}{\text{second}} \end{aligned}$$

Framerate video  $\times$  *speed* = Output pembacaan

$$30 \frac{\text{frame}}{\text{second}} \times \text{speed} = 1.2 \frac{\text{frame}}{\text{second}}$$

$$\text{Speed} = \frac{1.2}{30} = 0.04$$

Maka nilai dari *speed* yang akan digunakan adalah 0.04 atau 4% seperti pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Proses rekayasa kecepatan video

## 4.6 Proses Perhitungan

### 4.6.1 Analisa pada *Displacement* dan Waktu

Hasil dari pencatatan data berupa *displacement* putaran ( $\theta$ ) dan waktu tempuh putaran ( $t$ ) dicatat dengan kondisi *clearance*

yang berbeda. Displacement putaran didapatkan berdasarkan sudut yang mengacu pada posisi peletakan magnet.

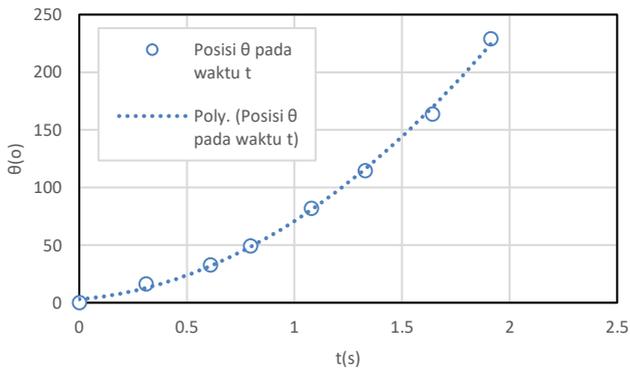
$$\begin{aligned} \text{Jumlah Manget pada rotor} &= 44 \text{ magnet} \\ &= 22 \text{ pasang magnet} \\ \text{Sudut total} &= 360^\circ \end{aligned}$$

$$\frac{360^\circ}{22 \text{ pasang magnet}} = 16.36^\circ$$

Sehingga jarak antara 1 pasang magnet dengan 1 pasang magnet yang lain adalah  $16.36^\circ$ .

#### 4.6.1.1 Analisa pada *Displacement* dan Waktu pada *Clearance 25mm*

Hasil data pengujian dengan *clearance* 25mm berupa nilai dari posisi ( $\theta$ ) pada waktu ( $t$ ) diplot pada suatu grafik yang terlihat pada gambar 4.7.



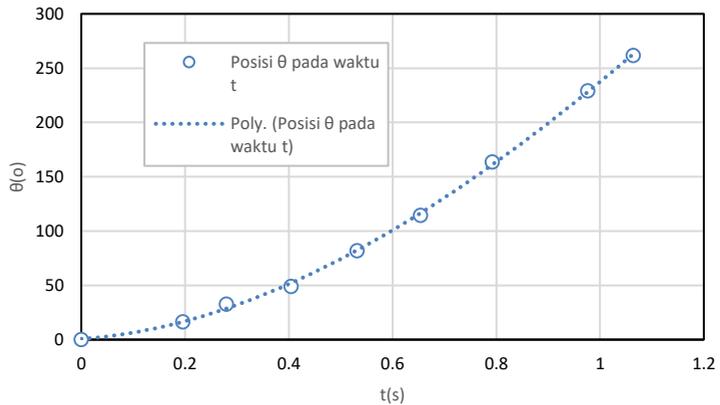
Gambar 4.7  $\theta$ - $t$  pada *clearance* 25mm

Dari grafik tersebut terlihat bahwa tren menyerupai polynomial pangkat 3. Fungsi dari grafik tersebut adalah :

$$\theta = 14.832t^3 + 10.229t^2 + 45.197t - 0.0099$$

#### 4.6.1.2 Analisa pada *Displacement* dan Waktu pada *Clearance 20mm*

Hasil data pengujian dengan *clearance* 20mm berupa nilai dari posisi ( $\theta$ ) pada waktu ( $t$ ) diplot pada suatu grafik yang terlihat pada gambar 4.8.



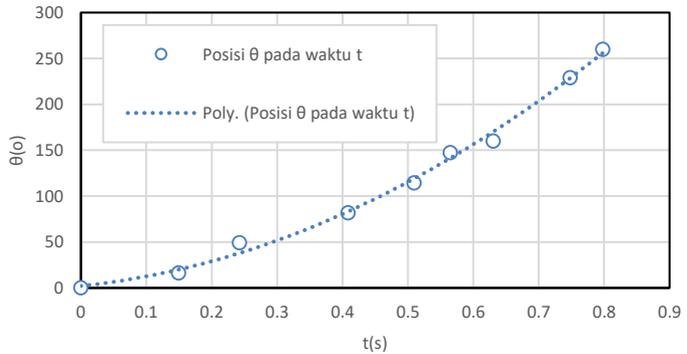
Gambar 4.8  $\theta$ - $t$  pada *clearance* 20mm

Dari grafik tersebut terlihat bahwa tren menyerupai polynomial pangkat 3. Fungsi dari grafik tersebut adalah :

$$\theta = 26.152t^3 + 157.99t^2 + 61.266t - 0.2716$$

#### 4.6.1.3 Analisa pada *Displacement* dan Waktu pada *Clearance 10mm*

Hasil data pengujian dengan *clearance* 10mm berupa nilai dari posisi ( $\theta$ ) pada waktu ( $t$ ) diplot pada suatu grafik yang terlihat pada gambar 4.9.



Gambar 4.9  $\theta$ -t pada *clearance* 10mm

Dari grafik tersebut terlihat bahwa tren menyerupai polynomial pangkat 3. Fungsi dari grafik tersebut adalah :

$$\theta = 44.886t^3 + 224.45t^2 + 110.93t - 0.3298$$

#### 4.6.2 Analisa pada Kecepatan dan Waktu

Setelah diperoleh persamaan dari *displacement* dan waktu, maka akan didapatkan persamaan kecepatan pada fungsi waktu dengan melakukan penurunan pada fungsi tersebut.

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

##### 4.6.2.1 Analisa pada Kecepatan dan Waktu dengan *Clearance* 25mm

Pengujian dengan *clearance* 25mm menghasilkan persamaan *displacement*( $\theta$ ) dengan satuan derajat pada fungsi waktu dalam satuan detik seperti berikut:

$$\theta = 14.832t^3 + 10.229t^2 + 45.197t - 0.0099$$

$$\omega = \frac{d(14.832t^3 + 10.229t^2 + 45.197t - 0.0099)}{dt}$$

$$\omega = 44.496t^2 + 20.458t + 45.197$$

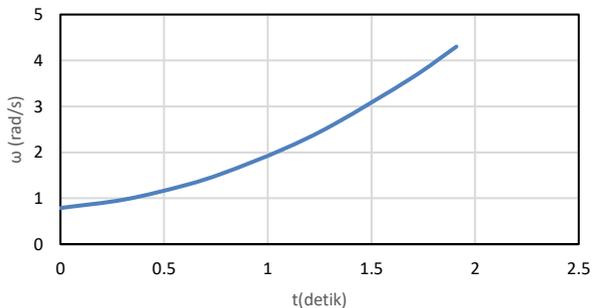
Fungsi yang diperoleh adalah kecepatan sudut dalam derajat per detik, untuk memperoleh fungsi kecepatan sudut dalam radian per detik maka:

$$1 \text{ Radian} = 57.2958^\circ$$

$$\omega = \frac{44.496t^2 + 20.458t + 45.197}{57.2958}$$

$$\omega = 0.776t^2 + 0.357t + 0.788$$

Berdasarkan persamaan yang diperoleh pada pengujian putaran dengan kondisi *clearance* 25mm, maka dapat diplot suatu grafik kecepatan sudut dalam radian per detik terhadap waktu dalam detik pada displacement 0 sampai 229.04 derajat seperti pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik kecepatan sudut terhadap waktu pada *clearance* 25mm

#### 4.6.2.2 Analisa pada Kecepatan dan Waktu dengan *Clearance* 20mm

Pengujian dengan *clearance* 20mm menghasilkan persamaan displacement( $\theta$ ) dengan satuan derajat pada fungsi waktu dalam satuan detik seperti berikut:

$$\theta = 26.152t^3 + 157.99t^2 + 61.266t - 0.2716$$

$$\omega = \frac{d(26.152t^3 + 157.99t^2 + 61.266t - 0.2716)}{dt}$$

$$\omega = 78.456t^2 + 315.98t + 61.266$$

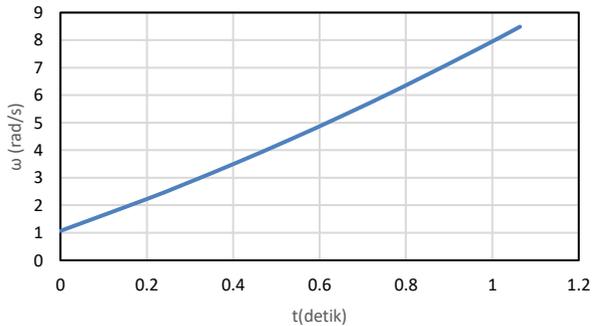
Fungsi yang diperoleh adalah kecepatan sudut dalam derajat per detik, untuk memperoleh fungsi kecepatan sudut dalam radian per detik maka:

$$1 \text{ Radian} = 57.2958^\circ$$

$$\omega = \frac{78.456t^2 + 315.98t + 61.266}{57.2958}$$

$$\omega = 1.369t^2 + 5.514t + 1.069$$

Berdasarkan persamaan yang diperoleh pada pengujian putaran dengan kondisi *clearance* 20mm, maka dapat diplot suatu grafik kecepatan sudut dalam radian per detik terhadap waktu dalam detik pada displacement 0 sampai 261.76 derajat seperti pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Grafik kecepatan sudut terhadap waktu pada *clearance* 20mm

#### 4.6.2.3 Analisa pada Kecepatan dan Waktu dengan *Clearance* 10mm

Pengujian dengan *clearance* 10mm menghasilkan persamaan displacement( $\theta$ ) dengan satuan derajat pada fungsi waktu dalam satuan detik seperti berikut:

:

$$\theta = 44.886t^3 + 224.45t^2 + 110.93t - 0.3298$$

$$\omega = \frac{d(44.886t^3 + 224.45t^2 + 110.93t - 0.3298)}{dt}$$

$$\omega = 134.658t^2 + 448.9t + 110.93$$

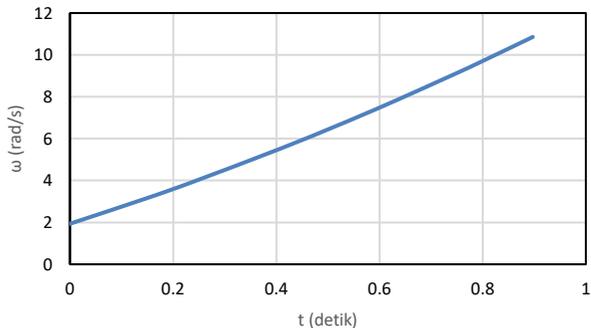
Fungsi yang diperoleh adalah kecepatan sudut dalam derajat per detik, untuk memperoleh fungsi kecepatan sudut dalam radian per detik maka:

$$1 \text{ Radian} = 57.2958^\circ$$

$$\omega = \frac{134.658t^2 + 448.9t + 110.93}{57.2958}$$

$$\omega = 2.35t^2 + 7.834t + 1.936$$

Berdasarkan persamaan yang diperoleh pada pengujian putaran dengan kondisi *clearance* 10mm, maka dapat diplot suatu grafik kecepatan sudut dalam radian per detik terhadap waktu dalam detik pada displacement 0 sampai 278.12 derajat seperti pada gambar 4.12.



Gambar 4.12 Grafik kecepatan sudut terhadap waktu pada *clearance* 10mm

#### 4.6.3 Analisa pada Percepatan dan Waktu

Setelah diperoleh persamaan dari kecepatan sudut dan waktu, maka akan didapatkan persamaan percepatan pada fungsi waktu dengan melakukan penurunan pada fungsi tersebut.

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt}$$

#### 4.6.3.1 Analisa pada Kecepatan dan Waktu dengan Clearance 25mm

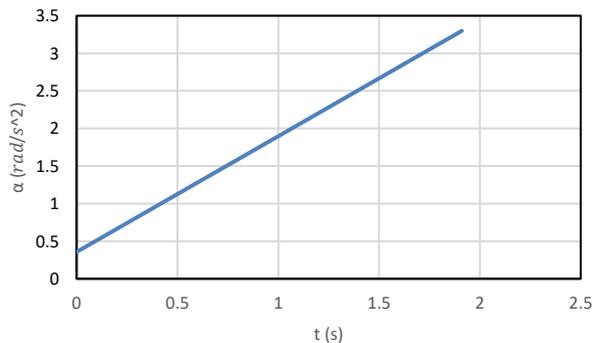
Pengujian dengan clearance 25mm menghasilkan persamaan displacement( $\theta$ ) dengan satuan derajat pada fungsi waktu dalam satuan detik seperti berikut:

$$\omega = 0.776t^2 + 0.357t + 0.788$$

$$\alpha = \frac{d(0.776t^2 + 0.357t + 0.788)}{dt}$$

$$\alpha = 1.54t + 0.357$$

Berdasarkan persamaan yang diperoleh pada pengujian putaran dengan kondisi clearance 25mm, maka dapat diplot suatu grafik percepatan sudut dalam radian per detik kuadrat pada displacement 0 sampai 229.04 derajat seperti pada gambar 4.13.



Gambar 4.13 Grafik percepatan sudut terhadap waktu pada clearance 25mm

#### 4.6.3.2 Analisa pada Kecepatan dan Waktu dengan *Clearance* 20mm

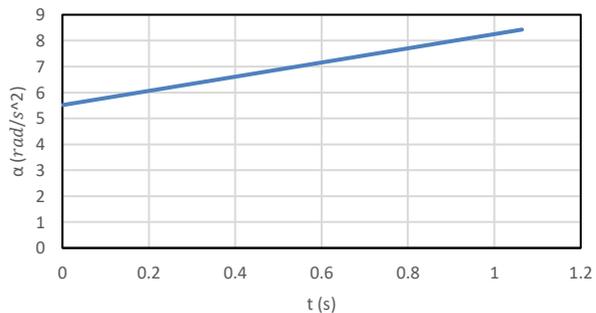
Pengujian dengan *clearance* 20mm menghasilkan persamaan displacement( $\theta$ ) dengan satuan derajat pada fungsi waktu dalam satuan detik seperti berikut:

$$\omega = 1.369t^2 + 5.514t + 1.069$$

$$\alpha = \frac{d(1.369t^2 + 5.514t + 1.069)}{dt}$$

$$\alpha = 2.738t + 5.514$$

Berdasarkan persamaan yang diperoleh pada pengujian putaran dengan kondisi *clearance* 20mm, maka dapat diplot suatu grafik percepatan sudut dalam radian per detik kuadrat pada displacement 0 sampai 261.76 derajat seperti pada gambar 4.14.



Gambar 4.14 Grafik percepatan sudut terhadap waktu pada *clearance* 20mm

#### 4.6.3.3 Analisa pada Kecepatan dan Waktu dengan *Clearance* 10mm

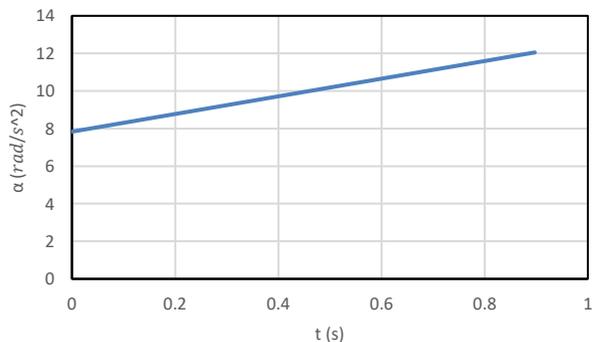
Pengujian dengan *clearance* 10mm menghasilkan persamaan displacement( $\theta$ ) dengan satuan derajat pada fungsi waktu dalam satuan detik seperti berikut:

$$\omega = 2.35t^2 + 7.834t + 1.936$$

$$\alpha = \frac{d(2.35t^2 + 7.834t + 1.936)}{dt}$$

$$\alpha = 4.7t + 7.834$$

Berdasarkan persamaan yang diperoleh pada pengujian putaran dengan kondisi *clearance* 10mm, maka dapat diplot suatu grafik percepatan sudut dalam radian per detik kuadrat pada displacement 0 sampai 278.12 derajat seperti pada gambar 4.15.



Gambar 4.15 Grafik kecepatan sudut terhadap waktu pada *clearance* 10mm

#### 4.6.4 Perhitungan Momen Inersia

Untuk memperoleh nilai torsi atau momen maka akan digunakan persamaan hukum Newton II dalam gerak melingkar, hukum Newton II dalam gerak melingkar adalah :

$$\Sigma M = I \cdot \alpha$$

Pada perhitungan sebelumnya telah diperoleh nilai dari percepatan sudut sehingga perlu diketahui nilai dari kelembaman atau inersia dari benda untuk mendapatkan nilai momen.

##### 4.6.4.1 Inersia dari Selimut Rotor

Perhitungan inersia dari selimut rotor yang berbentuk silinder pejal menggunakan rumus :

$$I = \frac{m}{2} (r_1^2 + r_2^2)$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal} &= 0.3\text{mm} \\ \text{Massa} &= 22.89\text{gr} = 22.89 \times 10^{-3} \text{ kg} \\ r_2 &= 50\text{mm} = 50 \times 10^{-3}\text{m} \\ r_1 &= 47\text{mm} = 47 \times 10^{-3}\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I &= \frac{m}{2} (r_1^2 + r_2^2) \\ I &= \frac{22.89 \times 10^{-3}}{2} ((47 \times 10^{-3})^2 + (50 \times 10^{-3})^2) \\ I &= 5.389 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

##### 4.6.4.2 Inersia dari Lempengan Dalam Rotor

Perhitungan inersia dari lempengan dalam rotor yang berbentuk lempengan lingkaran solid menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} I &= \frac{mr^2}{2} \\ r &= 47\text{mm} = 47 \times 10^{-3}\text{m} \\ m &= 0.0375 \text{ kg} \\ I &= \frac{mr^2}{2} \end{aligned}$$

$$I = \frac{0.0375 \times 47 \times 10^{-3}}{2}$$

$$I = 8.8125 \times 10^{-4} \frac{kg}{m^2}$$

#### 4.6.4.3 Inersia dari Magnet

Perhitungan inersia dari magnet sebagai benda berputar yang memiliki titik massa dapat menggunakan rumus :

$$I = mr^2$$

$$r = 55mm = 55 \times 10^{-3}m$$

$$m = 5.5 \text{ g} = 5.5 \times 10^{-3}kg$$

$$I = mr^2$$

$$I = 5.5 \times 10^{-3} (55 \times 10^{-3})^2$$

$$I = 1.663 \times 10^{-5} \frac{kg}{m^2}$$

Dengan jumlah magnet = 44 buah, maka :

$$I_{total} = 1.663 \times 10^{-5} \times 44 = 7.317 \times 10^{-4} \frac{kg}{m^2}$$

#### 4.6.4.4 Inersia Keseluruhan

Berdasarkan perhitungan inersia benda-benda yang berputar, maka inersia keseluruhannya adalah :

$$I = 5.389 \times 10^{-5} \frac{kg}{m^2} + 8.8125 \times 10^{-4} \frac{kg}{m^2} +$$

$$7.317 \times 10^{-4} \frac{kg}{m^2}$$

$$= 1.667 \times 10^{-3} \frac{kg}{m^2}$$

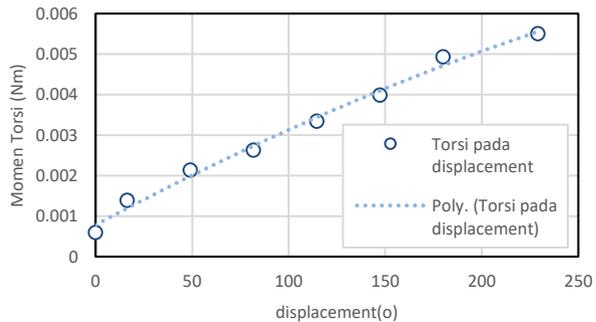
#### 4.6.4.5 Momen Inersia pada Pengujian dengan Clearance 25mm

Setelah memperoleh nilai percepatan sudut dan inersia benda yang berputar, maka dapat diketahui nilai dari momen

inersia atau torsi pada pengujian dengan *clearance* 25mm. Nilai yang diperoleh merupakan nilai Momen (Nm) terhadap displacement (°) diplot pada suatu grafik di gambar 4.16.

$$\alpha = 1.54t + 0.357$$

$$I = 1.667 \times 10^{-3} \frac{kg}{m^2}$$



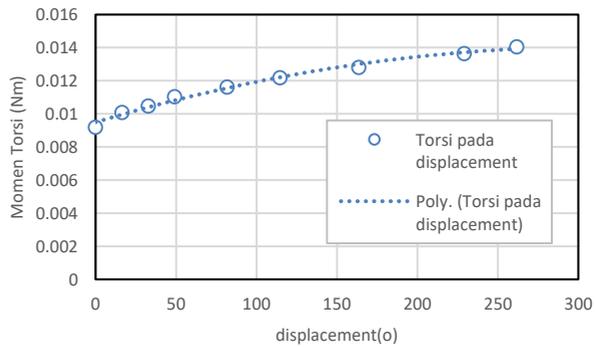
Gambar 4.16 Grafik Momen Torsi terhadap *Displacement* pada *Clearance* 25mm

#### 4.6.4.6 Momen Inersia pada Pengujian dengan *Clearance* 20mm

Setelah memperoleh nilai percepatan sudut dan inersia benda yang berputar, maka dapat diketahui nilai dari momen inersia atau torsi pada pengujian dengan *clearance* 20mm. Nilai yang diperoleh merupakan nilai Momen (Nm) terhadap displacement (°) diplot pada suatu grafik di gambar 4.14.

$$\alpha = 2.738t + 5.514$$

$$I = 1.667 \times 10^{-3} \frac{kg}{m^2}$$



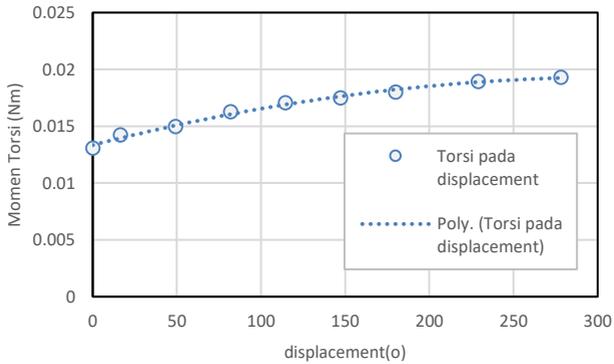
Gambar 4.17 Grafik Momen Torsi terhadap *Displacement* pada *Clearance* 20mm

#### 4.6.4.7 Momen Inersia pada Pengujian dengan *Clearance* 10mm

Setelah memperoleh nilai percepatan sudut dan inersia benda yang berputar, maka dapat diketahui nilai dari momen inersia atau torsi pada pengujian dengan *clearance* 10mm. Nilai yang diperoleh merupakan nilai Momen (Nm) terhadap displacement (°) diplot pada suatu grafik di gambar 4.18.

$$\alpha = 4.7t + 7.834$$

$$I = 1.667 \times 10^{-3} \frac{kg}{m^2}$$



Gambar 4.18 Grafik Momen Torsi terhadap *Displacement* pada *Clearance* 10mm

#### 4.6.5 Pembahasan dan Evaluasi

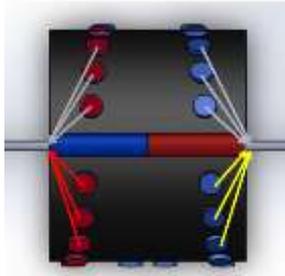
##### 4.6.5.1 Pembahasan Prinsip Kerja Alat

Pada dasarnya gaya yang digunakan untuk memutar rotor adalah gaya tarik menarik yang terjadi antara magnet seperti pada gambar 4.19.



Gambar 4.19 Skema Bagian Alat.

Pada satu titik akan dihasilkan gaya tarik-menarik beberapa magnet. Karena gaya pada magnet akan semakin besar saat jarak magnet semakin kecil maka resultan gaya akan mengarah pada sisi magnet dengan jarak terkecil seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.20.



Gambar 4.20 Arah dari Gaya Magnet

$$\begin{aligned} \text{Gaya} &= (F_1\theta + F_2\theta + F_3\theta - F_4\theta - F_5\theta - F_6\theta) + \\ & (F_1\theta + F_2\theta + F_3\theta - F_4\theta - F_5\theta - F_6\theta) \\ \text{Gaya} &= (\Sigma F\theta - \Sigma F\theta) + (\Sigma F\theta - \Sigma F\theta) \end{aligned}$$

Karena posisi magnet yang sama pada sisi kanan dan kiri, maka nilai gaya pada magnet sebelah kiri dan kanan juga memiliki nilai yang sama.

$$\begin{aligned} \text{Gaya} &= 2(\Sigma F\theta - \Sigma F\theta) \\ T(\theta) &= 2(\Sigma F\theta - \Sigma F\theta).R \end{aligned}$$

Sehingga energi yang dihasilkan berupa :

$$W = \int (T(\theta))d\theta$$

Namun agar siklus putaran dapat dilanjutkan, diperlukan juga usaha untuk memutar kembali siklus dan posisi magnet seperti semula. Beban ini merupakan beban dari massa magnet dan stator atas secara keseluruhan..

$$\text{Energi untuk memutar siklus} = (m \cdot g)h$$

Sehingga siklus energi secara keseluruhan adalah :

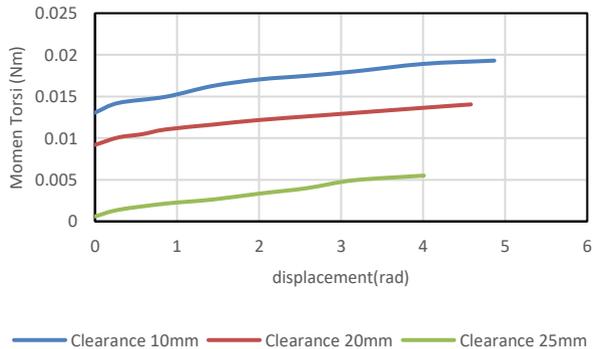
$$T1 - \Sigma U_{1.2} = T2$$

$$\int (T(\theta)) d\theta - (m \cdot g)h = T2$$

#### 4.6.4.2 Evaluasi Pengujian Alat

Berdasarkan pengamatan pada pengujian putaran yang dilakukan, alat mulai berputar pada sudut  $0^\circ$ , pada keadaan tersebut mulai terjadi gaya tarik-menarik antar magnet yang nilainya semakin bertambah seiring dengan sudut putaran yang bertambah dan nilai jarak magnet yang semakin berdekatan. Dari kondisi tersebut torsi yang dihasilkan muncul hingga sudut  $278.12^\circ$  dan putaran mulai berhenti.

Torsi terbesar dihasilkan pada *clearance* yang terkecil yaitu 10mm seperti terlihat pada gambar 4.21.



Gambar 4.21 Grafik Perbandingan Momen Torsi

Meskipun Torsi terbesar terdapat pada *clearance* 10mm, namun tetap tidak dapat memutar siklus kembali pada posisi semula. Nilai torsi rata-rata yang diperoleh sebesar 0.016585 Nm. Nilai dari kerja rotasi alat dapat diperoleh dengan mengintegrasikan persamaan grafik Momen torsi terhadap jarak tempuh dalam radian.

Persamaan grafik yang diperoleh :

$$T = 0.00127 \theta + 0.0139$$

$$W = \int (T(\theta)) d\theta$$

$$W = \int (0.00127\theta + 0.00139) d\theta$$

$$W = (0.00127\theta^2 + 0.00139\theta) \Big|_0^{4.85}$$

$$W = 0.0355 \text{ Nm}$$

Sedangkan energi yang dibutuhkan untuk mengangkat beban dan memutar siklus dapat diperoleh dengan :

Massa komponen	= 70 g
Massa magnet	= 55 g
Massa total	= 125 g = 0.125 kg
Jarak <i>stroke</i>	= 4cm = $4 \times 10^{-2} m$

Beban	= m.g
Beban	= 0.125 x 9.8
	= 1.225 N
W	= 1.225 x h
W	= 1.225 x $4 \times 10^{-3}$
W	= 0.049 Nm

Dari perhitungan diatas terlihat bahwa usaha yang dihasilkan pada keadaan tersebut adalah  $0.0355 \text{ Nm}$ , namun usaha yang dibutuhkan untuk memutar kembali siklus adalah  $0.049 \text{ Nm}$  sehingga putaran alat tidak dapat berlanjut walaupun sudah menghasilkan gaya.

#### 4.6.5.3 Analisa Perubahan Gaya Magnet Terhadap Perubahan Dimensi

Berdasarkan perumusan gaya magnet pada permodelan Gilbert, dimensi magnet berpengaruh pada besarnya gaya magnet.

$$F = \left( \frac{B_0^2 \cdot A^2 (L^2 + R^2)}{\pi \cdot \mu_0 \cdot L^2} \right) \left( \frac{1}{x^2} + \frac{1}{(x+2L)^2} - \frac{2}{(x+L)^2} \right) \quad (2.11)$$

Dimana :

- $B_0$  = Densitas flux dekat dengan kutub (T)
- A = Luasan masing-masing kutub ( $m^2$ )
- L = Panjang tiap magnet (m)
- x = Jarak antara dua magnet (m)
- R = Radius silinder magnet (m)

Dimensi magnet pada alat :

- L = 1cm =  $1 \times 10^{-2}$  m
- R = 0.5cm =  $5 \times 10^{-3}$  m
- A =  $\pi \cdot R^2$  =  $3.14 \times (5 \times 10^{-3})^2 = 7.85 \times 10^{-5} m^2$

Dimensi magnet lebih besar yang tersedia di pasaran :

- L = 0.2cm =  $0.2 \times 10^{-2}$  m
- R = 1 cm =  $1 \times 10^{-2}$  m
- A =  $\pi \cdot R^2$  =  $3.14 \times (1 \times 10^{-2})^2 = 3.14 \times 10^{-4} m^2$

Dengan spesifikasi grade yang sama maka, nilai  $B_0$  pada kedua magnet memiliki nilai yang sama, sehingga

$$F_1 = \left( \frac{B_0^2 \cdot (7.85 \times 10^{-5})^2 ((1 \times 10^{-2})^2 + (5 \times 10^{-3})^2)}{\pi \cdot \mu_0 \cdot (1 \times 10^{-2})^2} \right) \left( \frac{1}{(1 \times 10^{-2})^2} + \frac{1}{(1 \times 10^{-2} + 2(1 \times 10^{-2}))^2} - \frac{2}{(1 \times 10^{-2} + (1 \times 10^{-2}))^2} \right)$$

$$F_1 = \left( \frac{B_0^2 \cdot (7.702 \times 10^{-9})}{\pi \cdot \mu_0} \right) (6111.110)$$

$$F_2 = \left( \frac{B_0^2 \cdot (3.14 \times 10^{-4})^2 \left( (1.5 \times 10^{-2})^2 + (1 \times 10^{-2})^2 \right)}{\pi \cdot \mu_0 \cdot (0.2 \times 10^{-2})^2} \right) \left( \frac{1}{(1 \times 10^{-2})^2} \right. \\ \left. + \frac{1}{(1 \times 10^{-2} + 2(0.2 \times 10^{-2}))^2} \right. \\ \left. - \frac{1}{(1 \times 10^{-2} + (0.2 \times 10^{-2}))^2} \right) \\ F_2 = \left( \frac{B_0^2 \cdot (1.424 \times 10^{-8})}{\pi \cdot \mu_0} \right) (565.853)$$

Perbandingan gaya F1 dan F2

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{\left( \frac{B_0^2 \cdot (1.424 \times 10^{-8})}{\pi \cdot \mu_0} \right) (565.853)}{\left( \frac{B_0^2 \cdot (7.702 \times 10^{-9})}{\pi \cdot \mu_0} \right) (6111.110)} \\ \frac{F_2}{F_1} = 5.8413$$

$$F_2 = 5.8413 F_1$$

Berdasarkan perhitungan diatas terlihat bahwa magnet dengan diameter 20mm dan panjang 15mm memiliki nilai 5.8413 kelipatan gaya terhadap magnet dimensi yang sedikit lebih kecil yaitu dengan diameter 10 mm dan panjang 10 mm. Sehingga penggunaan magnet dengan dimensi diameter 20mm dan panjang 2mm pada mesin akan menghasilkan gaya dan usaha yang lebih besar dalam satu siklus putaran.

Dengan menggunakan magnet yang memiliki dimensi berberda, maka perlu dihitung diameter dari rotor tempat penempelan magnet.

$D_m$	= 20 mm
Jarak antar magnet	= 4 mm
Jumlah magnet	= 44 buah

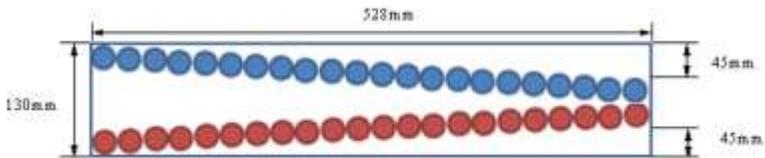
$$= \frac{44}{2} = 22 \text{ pasang}$$

$$\text{Keliling Lingkaran} = \pi \cdot D_L$$

$$\begin{aligned} \text{Total lintasan magnet} &= (20+4) \times 22 \\ &= 528 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total lintasan magnet} &= \text{Keliling Lingkaran} \\ 528 &= \pi \cdot D_L \\ D_L &= 168 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh skema peletakan magnet yang terlihat pada gambar 4.22.

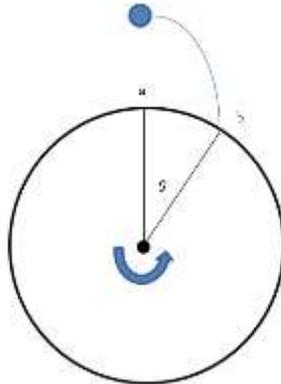


Gambar 4.22 Skema peletakan magnet

#### 4.6.5.4 Analisa Penerapan Sistem *Overhead Camshaft*

Sistem *overhead camshaft* berfungsi untuk memaksa magnet stator untuk turun pada posisi awal setelah siklus satu putaran. Sehingga magnet dapat kembali menghasilkan gaya torsi untuk putaran selanjutnya.

Seperti yang terlihat pada gambar 4.23, saat kondisi titik mati atas, magnet stator berada pada posisi tertinggi dengan nilai  $h = 40\text{mm}$  pada titik a. Setelah itu magnet stator akan kembali pada titik b dengan jarak clearance awal untuk kembali memutar siklus. Nilai  $\theta$  merupakan jarak antara titik a dan titik b yaitu  $30^\circ$ .



Gambar 4.23 Skema pada Kondisi Titik Mati Atas

Saat putaran mesin bertambah maka, magnet stator dapat terjatuh dan berada didepan titik b. Hal ini akan menyebabkan nilai kerja pada putaran lebih kecil karena jarak kontak magnet yang lebih kecil. Sehingga perlu diketahui saat dimana kecepatan putaran akan membuat magnet stator jatuh di titik yang lebih jauh.

Analisa Kecepatan vertikal magnet stator

$$s = V_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

Dimana :

s = merupakan jarak magnet stator saat TMA menuju titik awal bernilai 40mm

$V_0$  = merupakan kecepatan vertikal awal yang bernilai nol

a = percepatan secara vertikal bernilai  $9.8 \text{ m/s}^2$

$$40 \cdot 10^{-3} = 0 \cdot t + \frac{1}{2} 9.8 \cdot t^2$$

$$\frac{(40 \cdot 10^{-3})^2}{9.8} = t^2$$

$$\sqrt{0.008163} = t$$

$$t = 0.0903 \text{ detik}$$

Analisa Kecepatan putar magnet rotor

$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

Dimana:

$\theta$  = merupakan sudut tempuh dalam radian

$t$  = waktu tempuh dalam detik

$$\begin{aligned} 1 \text{ radian} &= 57.2958^\circ \\ \theta &= 30 \text{ derajat} \times \frac{1 \text{ radian}}{57.2958 \text{ derajat}} \\ \theta &= 0.523 \text{ radian} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan nilai  $t$  waktu tempuh magnet stator dari titik mati atas menuju titik awal maka nilai  $t = 0.0903$  detik.

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{0.523 \text{ radian}}{0.0903 \text{ detik}} \\ \omega &= 5.798 \frac{\text{radian}}{\text{detik}} \end{aligned}$$

Mengubah kecepatan sudut dalam rad/s menjadi kecepatan putaran dalam rpm

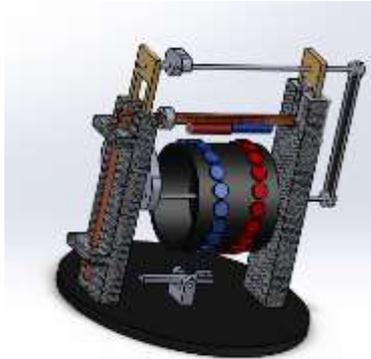
$$\begin{aligned} n &= 5.798 \frac{\text{radian}}{\text{detik}} \times \frac{60 \text{ sekon}}{\text{menit}} \times \frac{1 \text{ rotasi}}{2\pi \cdot \text{radian}} \\ n &= 55.39 \frac{\text{rotasi}}{\text{menit}} \end{aligned}$$

Berdasarkan Analisa perhitungan diatas waktu yang diperlukan motor stator untuk kembali dari titik mati atas menuju titik awal adalah 0.0903 s. Nilai waktu tersebut merupakan acuan untuk penggunaan sistem *overhead camshaft*. Kecepatan sudut yang ada pada keadaan tersebut adalah 5.798 rad/s, apabila kecepatan putaran rotor melebihi nilai tersebut maka magnet stator akan terjatuh pada titik yang lebih jauh. Sehingga penggunaan sistem *overhead camshaft* akan efektif diterapkan saat kecepatan

sudut yang dihasilkan lebih dari 5.798 rad/s atau sebesar 55.39 rpm.

#### 4.6.6 Rancangan Alat

Berdasarkan Analisa pengujian putaran dan evaluasi pada alat, maka dapat diperoleh suatu rancangan alat seperti terlihat pada gambar 4.24.



Gambar 4.24 Rancangan Alat

Pada perancangan alat tersebut, didesain dengan menggunakan magnet dengan ukuran yang lebih besar. Perubahan dari dimensi magnet akan membuat gaya yang timbul lebih besar pula seperti pada analisa dan evaluasi pengujian. Gaya yang besar membuat torsi putaran lebih besar pula sehingga energi yang dihasilkan pada satu siklus mampu mengangkat beban untuk memutar kembali siklus pada posisi semula.

#### 4.6.7 Analisa Perhitungan Daya Putaran Mesin

Berdasarkan rumus untuk menghitung nilai daya putaran, diperlukan nilai Torsi dan kecepatan putaran. Nilai Torsi diperoleh dengan menggunakan karakteristik dari putaran mesin yang diperoleh pada gambar 4.18. Sedangkan energi yang dibutuhkan untuk mengangkat beban dan memutar siklus pada rancangan akhir dapat diperoleh dengan :

$$\begin{aligned}
 \text{Massa komponen} &= 101.2 \text{ g} \\
 \text{Massa magnet} &= 76.5375 \text{ g} \\
 \text{Massa total} &= 177.7375 \text{ g} = 0.177 \text{ kg} \\
 \text{Jarak } \textit{stroke} &= 4\text{cm} = 4 \times 10^{-2} \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban} &= m \cdot g \\
 \text{Beban} &= 0.177 \times 9.8 \\
 &= 1.7346 \text{ N} \\
 W &= 1.7346 \times h \\
 W &= 1.7346 \times 4 \times 10^{-2} \\
 W &= 0.069 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas terlihat bahwa usaha yang dihasilkan pada keadaan tersebut adalah  $0.069 \text{ Nm}$ . Nilai kerja pada satu siklus yang diperoleh dengan pendekatan nilai gaya pada perbedaan dimensi magnet menghasilkan perbandingan gaya sebesar 5.8413 kali lipat. Sehingga menghasilkan nilai kerja sebesar :

$$0.0355 \text{ Nm} \times 5.8413 = 0.207 \text{ Nm}$$

Sedangkan nilai Torsi rata-rata yang dihasilkan sebesar  $0.016585 \text{ Nm} \times 5.8413 = 0.0968 \text{ Nm}$

Berdasarkan pengujian yang dilakukan pada Tugas Akhir oleh Ardinnata Iskhq diperoleh data berupa kecepatan putaran sebesar 60 rpm. Dengan data-data tersebut maka :

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{60 \text{ rotasi}}{\text{menit}} \\
 \omega &= \frac{60 \text{ rotasi}}{\text{menit}} \times \frac{\text{menit}}{60 \text{ sekon}} \times \frac{2\pi \cdot \text{radian}}{\text{rotasi}} \\
 \omega &= 6.28 \frac{\text{radian}}{\text{sekon}}
 \end{aligned}$$

$$P = \tau \cdot \omega$$

$$P = 0.0968 \times 6.28$$

$$P = 0.607904 \text{ Watt}$$

Dengan massa keseluruhan yang dimiliki pada rancangan akhir berupa :

Massa magnet	= 4.71 gram	
Massa total magnet	= 4.71 x 44	= 207.24 gram
Massa rotor	= 267.1 gram	
Massa nok	= 50 gram	
Massa <i>overheadcam</i>	= 20 gram	
Massa Rangka	= 1078 gram	
Massa <i>Base</i>	= 5373.575 gram	
Massa total	= 6995.915 gram	

Sehingga dapat diperoleh nilai *power to weight ratio* yang merupakan perbandingan nilai daya per satuan massa.

$$\frac{P}{w} = \frac{0.607904 \text{ Watt}}{6995.915 \text{ gram}} \times \frac{1000 \text{ gram}}{\text{kg}}$$

$$\frac{P}{w} = \frac{0.0868 \text{ Watt}}{\text{kg}}$$

Maka diperoleh nilai *power to weight ratio* dengan nilai 0.0868 Watt/kg. Sebagai perbandingan, terdapat beberapa nilai *power to weight ratio* pada beberapa mesin seperti dibawah ini:

Suzuki 538 cc V2 4-strokegas ( <i>petrol</i> )	= 0.27 kW/kg
Panasonic MSMA202S1G AC servo motor	= 0.31 kW/kg
Boeing <sup>238</sup> PuMMRTGMSL	= 2.79 W/kg
<i>Ceramic Fuel Cells</i> BlueGen MG 2.0 CHP	= 10 W/kg

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari tugas akhir rancang bangun mesin *perpetual motion* penggerak magnet ini antara lain :

1. Didapatkan desain yang lebih baik untuk mesin *perpetual motion* penggerak magnet berupa dimensi penggunaan magnet rotor diameter 20mm berjumlah 44 buah serta detail dimensi dan rangka alat yang tercantum pada lampiran
2. Hasil uji pengaruh *clearance* magnet terhadap nilai dari putaran mesin menunjukkan bahwa semakin kecil nilai dari *clearance* magnet membuat kecepatan putaran dan torsi putaran semakin besar.
3. Hasil Analisa penerapan sistem *overhead camshaft* menunjukkan bahwa penggunaan sistem akan efektif diterapkan saat kecepatan sudut yang dihasilkan lebih dari 5.798 rad/s atau sebesar 55.39 rpm.
4. Hasil Analisa daya putaran pada rancangan akhir menghasilkan daya sebesar 0.61 Watt. Dengan nilai *power to weight ratio* 0.089 Watt/kg.

#### **5.2 Saran**

Saran yang bisa diajukan setelah pengerjaan tugas akhir ini adalah :

1. Dilakukan analisa pada penambahan massa komponen yang berputar agar dapat dihasilkan nilai dari momen torsi yang lebih baik. Sesuai dengan perumusan resultan momen yang nilainya berbanding lurus dengan nilai massa komponen.
2. Dilakukan penelitian dengan menggunakan rumus medan magnet agar diketahui gaya yang timbul antara dua buah

magnet. Sehingga dapat diperoleh nilai daya putaran teoritis pada rancangan mesin keseluruhan.

3. Proses penempelan magnet dilakukan dengan lebih presisi sesuai dengan pola yang sudah ditentukan agar resultan gaya yang timbul antara kedua magnet menghasilkan nilai yang lebih baik.
4. Hasil ketelitian pengujian putaran mesin berdasarkan metodologi melalui *software video processing* bergantung pada resolusi dari video pengujian putaran. Semakin tinggi fps (*frame per second*) maka nilai akan semakin mendekati kebenaran, namun membutuhkan kamera dengan spesifikasi yang lebih tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonym, 2012. **Magnetic Fields and Forces**, <URL:<https://web.archive.org/web/20120220030524/>>.
- Caillat, T., 2006. **Development of a New Generation of High-Temperature Thermoelectric Unicouples for Space Applications**. <URL:<http://trs-new.jpl.nasa.gov/dspace/bitstream/2014/40238/1/06-2720.pdf>>
- Cassox, 2014, **Magnet Implants** ,<URL:<http://augmentationlimitless.blogspot.co.id/2014/09/magnet-implants-ii-building-better.html>>
- Deutschman, Aaron D., Michels, Walter J., dan Wilson, Charles E., 1975. **Machine Design, Theory and Practice**, New York: Macmillan Publishing Co., Inc.
- Halliday. 1974. **Fundamentals of Physics**. New York: Wiley.
- Hayt, William H., dan Buck, John A. 2001. **Engineering Electromagnetics Sixth Edition**, Boston: McGraw-Hill.
- Hibbeler, R. C. 2013. **Engineering Mechanincs Dynamics, Thirteenth Edition**. New York: Pearson.
- Iskhaq, Ardinata. 2015. **Pembuatan Alat Peraga Magnetic Perpetual Circular Motion**. Solo:Universitas Sebelas Maret.
- Lena, 2016. **Neodymium Magnet**,<URL:<http://www.ecvv.com/product/3797081.html>>
- Lihemag, 2008. **Cast AlNiCo Magnets**, <URL:<http://www.lihemag.com/products/Cast-AlNiCo-Magnets.htm>>
- Panasonic. 2010. **Panasonic MINAS-A4 AC Servo - Motor Specifications and Ratings 200V MSMA**. <URL:[http://industrial.panasonic.com/ww/i\\_e/25000/fa\\_pro\\_acs\\_minas\\_a4\\_e/fa\\_pro\\_acs\\_minas\\_a4\\_e/a4\\_16.pdf](http://industrial.panasonic.com/ww/i_e/25000/fa_pro_acs_minas_a4_e/fa_pro_acs_minas_a4_e/a4_16.pdf)>.
- Pudjanarsa, Astu., dan Nursuhud, Djati. 2008. **Mesin Konversi Energi Edisi Revisi**. Yogyakarta: ANDI.
- PUSDATIN ESDM. 2012. **Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia 2012**. <URL:<http://prokum.esdm>.

go.id/Publikasi/Handbook%20of%20Energy%20&%20Economic%20Statistics%20of%20Indonesia%20/Handbook%20of%20Energy%20&%20Economic%20Statistics%20ind%202012.pdf>.

Serway, Raymond A. 1986. **Physics for Scientists and Engineers, Second Edition**. New York: Saunders College.

Schill, R A., 2003, "General relation for the vector magnetic field of a circular current loop: A closer look". **IEEE Transactions on Magnetics** 39 (2): 961–967.

Sun Power. 2011. **Solar Panel E20 Series**. <URL: <https://us.sunpower.com/sites/sunpower/files/media-library/data-sheets/ds-e20-series-435-solar-panel-datasheet.pdf>>

Suzuki. 2010 **Suzuki Marine - DF25 - Features and Specifications**. <URL:[http://www.suzukimarine.com/sr\\_09/df25/features/](http://www.suzukimarine.com/sr_09/df25/features/)>

Vokoun, D., Beleggia, M., Heller, L., dan Sittner, P. 2009. "Magnetostatic interactions and forces between cylindrical permanent magnets". **Journal of Magnetism and Magnetic Materials** 321(22): 3758–3763.

Xiamen, 2010. **Segment Ferrite Magnet**, <URL:<http://www.everbeenmagnet.com/en/products/103-ceramic-magnets/40-segment-ferrite-magnets>>

### **Lampiran 1**

Data pengujian *displacement* dan waktu pada *clearance* 25mm, 20mm, dan 10mm

<b>25mm</b>	
$\theta(^{\circ})$	t(s)
0	0
16.36	0.31
32.72	0.60
49.08	0.79
81.8	1.07
114.52	1.32
163.6	1.69
229.04	1.91

<b>20mm</b>	
$\theta(^{\circ})$	t(s)
0	0
16.36	0.196
32.72	0.2796
49.08	0.4044
81.8	0.5316
114.52	0.654
163.6	0.7924
229.04	0.976
261.76	1.064

<b>10mm</b>	
$\theta(^{\circ})$	t(s)
0	0
16.36	0.1492
49.08	0.2424
81.8	0.4084
114.52	0.5092
147.24	0.5648
179.96	0.655
229.04	0.748
278.12	0.839

**Lampiran 2**

Data momen inersia terhadap *displacement* dengan *clearance* 25mm, 20mm dan 10mm.

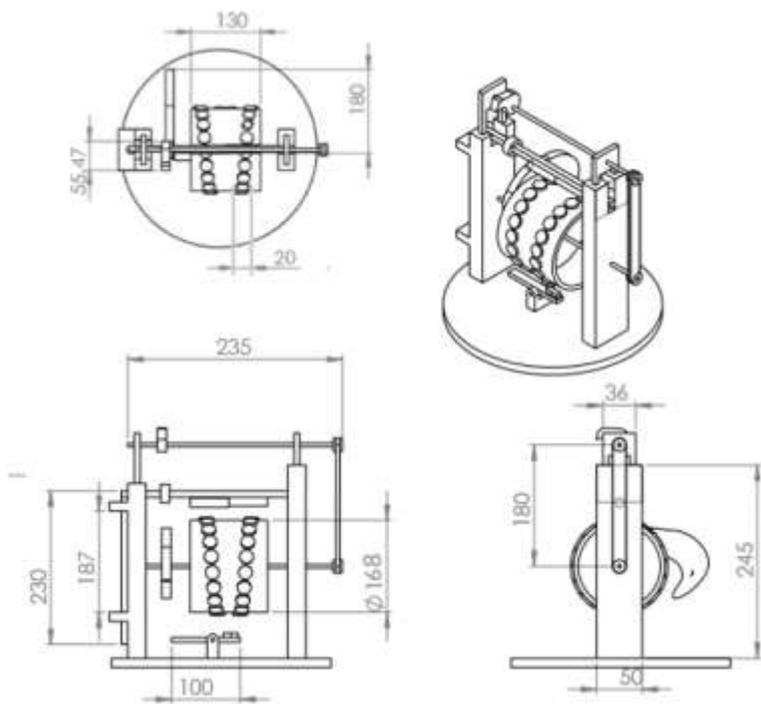
25 mm	
Displacement (°)	M (Nm)
0	0.000595
16.36	0.001391
32.72	0.002135
49.08	0.002623
81.8	0.003342
114.52	0.003984
163.6	0.004934
229.04	0.005498

20 mm	
Displacement (°)	M (Nm)
0	0.009192
16.36	0.010086
32.72	0.010468
49.08	0.011038
81.8	0.011618
114.52	0.012177
163.6	0.012809
229.04	0.013647
278.12	0.014048

10mm	
Displacement (°)	M (Nm)
0	0.013059
16.36	0.014228
49.08	0.014958
81.8	0.016259
114.52	0.017049
147.24	0.017484
179.96	0.017998
229.04	0.01892
278.12	0.019308

**Lampiran 3**

Gambar detail rancangan alat.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIODATA PENULIS



### **Benedictus Bayu Indrawadi**

adalah nama penulis Tugas Akhir ini. Penulis lahir dari orangtua Fx Sukamdiarto dan Ingrid Ariyani DA sebagai anak kedua dari dua bersaudara. Penulis dilahirkan di Balikpapan, 10 Maret 1994. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Tunas Bangsa Manado (*lulus tahun 2000*), SD Santa Ursula Bandung (*hingga tahun 2002*), SD Tarakanita 1 Jakarta (*lulus tahun 2006*), SMP Pangudi Luhur Jakarta (*lulus tahun 2009*), SMA Kolese Gonzaga (*lulus tahun 2012*). Setelah lulus dari SMA Kolese Gonzaga penulis mengikuti SNMPTN Tulis dan diterima di Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS pada tahun 2012 dan terdaftar dengan NRP. 2112100105.

Di Jurusan Teknik Mesin ini Penulis mengambil bidang Studi Desain. Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan seminar dan kepanitiaan yang diselenggarakan oleh Jurusan dan Institut. Penulis juga aktif di Keluarga Mahasiswa Katholik (KMK) pada Departemen Minat dan Bakat.

Dalam hidupnya penulis memiliki prinsip untuk senantiasa bekerja dengan optimal dengan selalu berserah pada kehendak Tuhan. Untuk segala kritik, saran dan masukan yang membangun, Penulis dapat dihubungi melalui email: *indrawadi31@gmail.com*.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*