

# Analisis Performa *Flywheel*

Imam Dwi Prasetyo<sup>1</sup>, Wahyudi Budi Pramono<sup>2</sup>, Warindi<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia  
Jl. Kaliurang km 14.5, Besi, Sleman, Yogyakarta 55584.

<sup>1</sup>imamdepe1994@gmail.com

Seiring banyak terjadinya pemadaman listrik bergilir di daerah maupun di kota-kota banyak cara yang di lakukan untuk mengatasi masalah ini banyak penyimpanan energi cadangan yang dapat digunakan salah satu cara yang sering digunakan adalah dengan menggunakan genset. namun kendala dari genset ini mahalnya bahan bakar dan ketersediaan bahan bakar di dunia ini semakin lama semakin menipis. Dari sekian banyak media penyimpan energi ada salah satu media yang dapat menyimpan energi yang berlebih kemudian menggunakan kembali saat diperlukan adalah menggunakan *flywheel* (roda gila). *Flywheel* atau sering disebut roda gila adalah sebuah komponen yang terdapat pada semua kendaraan roda empat. *Flywheel* merupakan sebuah piringan yang karena beratnya dapat menahan perubahan kecepatan yang drastis sehingga gerak putaran poros mesin menjadi lebih halus, untuk membuktikan kinerja *flywheel* terhadap motor pada penelitian ini menguji kinerja performa *flywheel* terhadap motor dc yang mana motor dc yg digunakan difungsikan sebagai penggerak dan penyuplai (pada saat diputus dari sumber), *Flywheel* yang digunakan merupakan sebuah lempengan besi 3 lapis yang tebalnya 2 cm dengan diameter keseluruhan 22 cm dan dengan berat 6 kg, dalam sistem ini berat dan lebar *flywheel* sangat berpengaruh pada putaran saat motor di putus dari sumber. Semakin berat dan semakin lebar ukuran *flywheel* maka semakin bagus dan semakin lama ketahanan putarannya. Berdasarkan hasil analisis performa roda-gila (*flywheel*) dapat ditarik kesimpulan: *Flywheel* sangat berpengaruh pada putaran generator saat sumber diputus, waktu bertahan putar selama 1 menit 20 detik Kecepatan motor sangat berpengaruh kepada kecepatan yang dihasilkan pada *flywheel*. *Flywheel* dapat menyimpan energi yang berlebih kemudian menggunakannya kembali saat diperlukan, Energi yang dihasilkan oleh model penyimpanan energy berbasis roda-gila (*flywheel*) adalah 2.29 joule Nilai efisiensi yang dapat dihasilkan oleh *flywheel* dengan diameter 22 cm dan berat 6 kg berdasarkan teori adalah 0.53%, sedangkan berdasarkan pengukuran adalah 0,22%

**Kata kunci :** Motor DC, *Flywheel*.

## I. PENDAHULUAN

Seiring makin dirasakannya krisis sumber daya energi maka peran dari alat penyimpan energi menjadi sangat penting akibat kebutuhan akan penggunaan energi yang kurang efisien sehingga banyak cara yang dilakukan untuk mengatasi masalah ini. Banyak penyimpanan energi cadangan yang dapat digunakan salah satu cara yang sering digunakan adalah menggunakan genset Genset yang paling banyak digunakan adalah yang menggunakan bahan bakar seperti solar atau besin. genset model ini banyak digunakan karena mudah dioperasikan dan bahan bakar yang dibutuhkan mudah didapat, namun kendala dari genset ini mahalnya harga bahan bakar dan ketereediaan bahan bakar di dunia ini semakin lama semakin menipis persediaannya[1]

Energi yang berlebih dari suatu pembangkit listrik harus disimpan dalam bentuk tertentu atau energi tersebut akan terbuang percuma. Dari sekian banyak media penyimpan energi ada salah satu media yang dapat menyimpan energi yang berlebih kemudian menggunakan kembali saat diperlukan adalah menggunakan *flywheel* (roda gila)

*Flywheel* ini merupakan sebuah piringan yang karena beratnya dapat menahan perubahan kecepatan yang drastis sehingga gerak putar poros mesin menjadi lebih halus. *Flywheel* menyimpan energi saat putaran mesin tinggi dan meneruskannya saat putaran mesin rendah.[5]. Pada saat putaran mesin bertambah putarannya bertambah tenaga tersebut tersimpan dalam roda gila, energi yang tersimpan dalam roda gila berupa energi kinetik atau energi gerak yang dapat digunakan kembali

untuk mmeutar suatu generator sehingga dapat menghasilkan energi yang baru

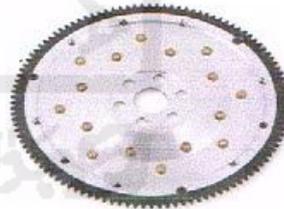
## II. LANDASAN TEORI

### 2.2 Dasar Teori

#### 2.2.1 FLYWHEEL

*Flywheel* atau sering disebut roda gila adalah sebuah komponen yang terdapat pada semua kendaraan roda empat. *Flywheel* merupakan sebuah piringan yang karena beratnya dapat menahan perubahan kecepatan yang drastis sehingga gerak putaran poros mesin menjadi lebih halus.

Fungsinya hampir sama dengan baterai yang membedakan hanya cara penyimpanannya yang mana pada baterai energi di simpan secara kimiawi sedangkan pada *flywheel* energi di simpan dengan cara memutar porosnya. Untuk dapat menyimpan energi poros *flywheel* harus berputar dengan sangat cepat sesuai dengan kecepatan maksimal penggerak utama.[1]



Gambar 1. *Flywheel*.

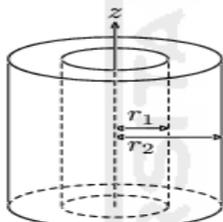
Handwritten signature and date: "Dwi 22/3/18" with a stylized signature.

dalam bentuk energi kinetik rotasi. Besarnya energi yang tersimpan pada *flywheel* tergantung pada momen inersia dan kecepatannya saat berputar, *flywheel* akan menyimpan energi saat berputar karena dikenai gaya dalam bentuk energi kinetik rotasi dan akan melepaskan energi tersebut saat gaya yang mengenainya berkurang atau dihilangkan

Sebuah *flywheel* bisa berputar sampai puluhan ribu RPM tergantung dari material yang menyusunnya, semakin padat dan keras material suatu *flywheel* semakin bagus karena dengan volume yang kecil massanya semakin besar dan selain itu juga akan semakin tahan jika diputar dengan kecepatan tinggi [4]. Dari fungsi tersebut dapat dikatakan *flywheel* dapat digunakan untuk menghasilkan energi yang baru dari energi yang sudah terpakai

Untuk mengetahui daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh *flywheel* langkah pertama adalah menghitung torsi. Sebelum menghitung torsi, perlu diketahui berapa berat dan jari-jari *flywheel* untuk dapat mengetahui besar momen inersianya. Berikut persamaan yang digunakan untuk menghitung momen inersia sesuai dengan bentuk bendanya [6]:

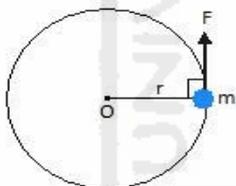
### 1. Silinder berongga



Gambar 1. Silinder berongga.

$$I = mr^2 \quad 2.1$$

### 2. Benda pejal



Gambar 3. Benda pejal.

$$I = (1/2) mr^2 \quad 2.2$$

Dimana :

$I$  = Momen inersia ( $\text{Kg m}^2$ )

$m$  = Massa *flywheel* ( $\text{Kg}$ )

$r$  = Jari-jari *flywheel* ( $\text{m}$ )

Setelah diketahui nilai momen inersia sehingga torsi dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$\tau = I \cdot \alpha \quad 2.3$$

Dimana :  $\tau$  = Torsi ( $\text{Nm}$ )

$I$  = Momen inersia ( $\text{Kg m}^2$ )

$\alpha$  = Percepatan sudut ( $\text{rad/sec}^2$ )

Setelah mendapatkan nilai torsi barulah dapat dihitung besar daya yang dapat dihasilkan oleh *flywheel* tersebut. Besar daya tersebut dapat diketahui menggunakan persamaan:

$$P = \frac{2\pi n \tau}{60} \quad 2.4$$

Dimana :

$P$  = Daya maksimum ( $\text{Watt}$ )

$\tau$  = Torsi ( $\text{Nm}$ )

$n$  = RPM maksimum

Setelah mendapatkan nilai dari daya maksimum yang di dapat sehingga dapat diketahui efisiensi yang di hasilkan oleh *flywheel* tersebut menggunakan persamaan:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} 100\% \quad 2.5$$

Dimana:

$\eta$  = Efisiensi

$P_{in}$  = Daya yang masuk ( $\text{Watt}$ )

$P_{out}$  = Daya keluar ( $\text{Watt}$ )

### 2.2.2 Motor DC (Direct Current)

Motor DC atau yang biasa disebut motor listrik merupakan perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya memutar *impeller* pompa, *fan* atau *blower*, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll. Motor listrik digunakan juga di rumah (*mixer*, bor listrik, *fan* angin) dan di industri. Motor listrik kadang kala disebut “kuda kerja” nya industri sebab diperkirakan bahwa motor-motor menggunakan sekitar 70% beban listrik total di industri

Pada dasarnya semua motor DC dapat menjadi generator DC dikarenakan keduanya memiliki komponen-komponen yang sama persis. Meskipun demikian, fungsi dari keduanya saling bertolak belakang. Motor listrik berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanis, sedangkan generator berfungsi untuk mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Motor dan generator DC sama-sama mengadopsi salah satu hukum fisika terkenal yakni hukum Faraday

Hukum Faraday menjelaskan adanya fenomena induksi elektromagnetik, mengenai hubungan antara medan magnet, gaya gerak listrik, serta gaya mekanis. Jika ada sebuah kawat yang bergerak sehingga memotong garis gaya magnet, maka akan secara alami terbangkitkan gaya gerak listrik pada kawat tersebut. Fenomena ini yang menjadi prinsip dasar generator DC. Sedangkan jika ada sebuah kawat kumparan beraliran listrik searah sedang berada di tengah-tengah medan magnet, maka kumparan tersebut akan timbul gaya dorong atau yang biasa kita kenal dengan sebutan gaya *Lorentz*. Fenomena ini menjadi prinsip dasar motor listrik DC, bentuk motor DC dapat dilihat pada Gambar dibawah ini



Gambar 4. Motor DC

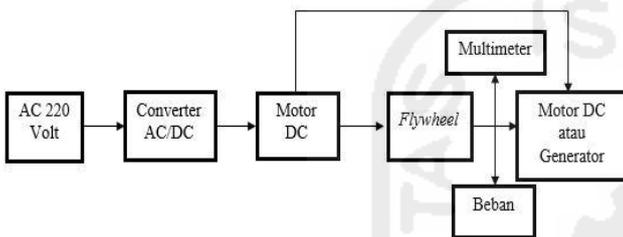
Spesifikasi motor DC yang dipakai pada alat penyimpan energi berbasis roda-gila (*flywheel*) ini dapat dilihat pada Tabel 2.1 dibawah ini :

Tabel 1. Spesifikasi motor DC

<i>Rated voltage</i>	24 volt
<i>Rated output</i>	50 watt
<i>Rated current</i>	3,5 ampere
<i>Rated speed</i>	3150 RPM
<i>Rated torque</i>	1,9 kgf-cm
<i>Weight</i>	1,9 kg

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Objek penelitian



Gambar 2. Blok diagram sistem dan pengujian.

Objek penelitian ini adalah model penyimpanan energi berbasis roda gila (*flywheel*). Penyimpanan energi ini terdiri dari motor DC dan *flywheel*. Motor DC yang digunakan adalah motor DC 24 Volt dengan kecepatan sekitar 3150 RPM dengan daya 50 Watt. *Flywheel* yang digunakan terbuat dari sebuah pulley perkakas besar yang dimodifikasi dengan menambah diameter dan beratnya, diameter *flywheel* ini 22 cm dan berat 6 kg.

Pertama motor DC mendapatkan *supply* dari sumber sebesar 220 V namun sebelum di *supply* ke motor tegangan diubah dengan *converter* AC to DC dan diturunkan tegangannya menjadi 24 Volt DC. Setelah tegangan diubah dan diturunkan dengan *converter* maka dapat langsung dihubungkan ke motor DC, motor DC disini berfungsi sebagai penggerak dan penyuplai.

Pada saat mode penggerak motor DC dihubungkan dengan tegangan 24 Volt, motor tersebut dapat berputar dengan kecepatan yang maksimal dan *flywheel* yang digunakan pun ikut berputar. Energi kinetik ini yang kemudian digunakan untuk memutar motor. Motor mengubah energi kinetik menjadi energi listrik sehingga energi yang dilepaskan dari motor DC dapat digunakan kembali, motor DC berubah fungsi menjadi mode penyuplai

#### 3.2 Alat dan bahan penelitian

##### 3.2.1 Bahan Penelitian:

Bahan yang digunakan untuk melakukan penelitian ini adalah model penyimpanan energi berbasis roda-gila (*flywheel*), dengan meneliti performa *flywheel* terhadap putaran motor dan membandingkan motor yang di couple dengan *flywheel* dengan motor tanpa *flywheel*.

##### 3.2.2 Alat penelitian

Pada alat penelitian kali ini sangat penting bagi penulis sebagai penunjang perancangan. Pada tahap ini penulis menggunakan alat penelitian, berupa:

Tabel 2. Alat penelitian

Alat	Fungsi
Timbangan	Menimbang berat massa <i>flywheel</i>
Tacho Meter	Menghitung kecepatan RPM <i>flywheel</i>
Watt Meter	Mengukur tegangan, arus, dan daya

##### 3.3 Alur penelitian

Adapun alur penelitian yang dilakukan untuk pengujian performa *flywheel* sebagai berikut :



Gambar 6. Alur penelitian

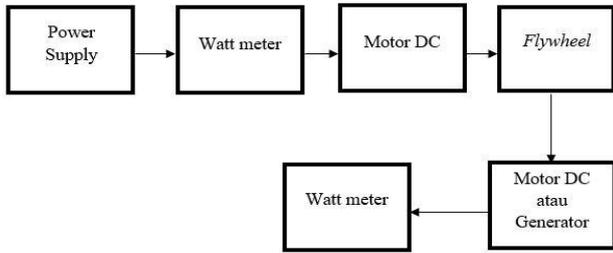
##### 3.3.1 Perhitungan diameter dan berat flywheel

Perhitungan berat dan lebar *flywheel* yang akan dimanfaatkan untuk mendapatkan nilai momen inersia dan torsi sehingga energi yang dihasilkan dari *flywheel* dapat diketahui dengan perhitungan menurut teori, diameter *flywheel* yang digunakan sekitar 22 cm dan berat 6 kg.

##### 3.3.2 Pengukuran kecepatan motor

Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui kecepatan maksimal motor yang digunakan. Hal ini berkaitan erat dengan perhitungan momen inersia dan torsi. Kecepatan motor sangat berpengaruh dalam sistem ini karena penggerak utama dari sistem ini adalah motor.

### 3.3.3 Pengukuran tegangan, arus dan daya



Pengujian dan pengukuran pada motor DC dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai tegangan, arus dan daya. *Power supply* digunakan sebagai input, *power supply* yang digunakan 24 volt pengujian yang dilakukan adalah pengujian *input* dan *output* pada *power supply*, untuk pengukuran *input power supply* pengukuran dilakukan pada *input converter* dan untuk pengukuran *output power supply* dilakukan pada *output converter* dan pengujian saat motor menjadi generator tanpa beban dan tanpa beban, untuk pengukuran generator pengukuran dilakukan pada output motor yang mana motor yang awalnya digunakan untuk penggerak utama untuk memutar *flywheel* setelah *flywheel* berputar pada kecepatan tinggi dan menyimpan energi gerak, sehingga energi yang tersimpan pada *flywheel* digunakan kembali untuk memutar motor menghasilkan energi listrik sebagai pengganti dari peran utama generator, beban yang digunakan adalah resistor 1K.

Pengujian ini dilakukan sampai dengan kecepatan motor mencapai kecepatan maksimum atau 2500 RPM, setelah mencapai kecepatan maksimum maka sumber diputus dari *power supply*, pengujian dilakukan sebanyak tiga kali. Hal ini bertujuan untuk memisahkan nilai yang terukur dari masing-masing pengujian. Untuk pengujian generator yaitu pada saat motor diputus dari sumber dan putaran yang dihasilkan oleh *flywheel* digunakan untuk memutar motor DC dan sekaligus motor berubah fungsi menjadi generator, untuk pengujian generator berbeban resistor 1K dirangkai paralel sampai dengan daya yang terukur mencapai kecepatan maksimum.

Setelah melakukan pengukuran tegangan, arus dan daya. Data pengukuran tersebut diolah menggunakan *microsoft excel* untuk memunculkan grafik histerisis.

### 3.3.4 Perhitungan daya yang dihasilkan oleh flywheel

Pada tahap pengujian ini dimaksudkan untuk mengukur kecepatan putar maksimal yang dapat dihasilkan mesin. Alat ukur untuk pengujian ini berupa Tachometer yang berfungsi mengukur kecepatan putar mesin, Wattmeter untuk mengukur daya, Voltmeter untuk mengukur tegangan dan Amperemeter untuk mengukur arus. Berikut ini langkah-langkah yang digunakan untuk perhitungan sesuai teori:

#### 1. Perhitungan torsi

Perhitungan torsi bertujuan untuk mengetahui daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh *flywheel*. Sebelum menghitung torsi, perlu diketahui berapa berat dan jari-jari *flywheel* digunakan untuk dapat mengetahui besar momen inersianya. Penghitung momen inersia menggunakan

persamaan (2.2). Setelah momen inersia didapatkan maka torsi dapat dihitung menggunakan persamaan (2.3)

#### 2. Perhitungan daya yang dihasilkan flywheel

Daya adalah ukuran dari jumlah usaha yang dapat dilakukan dalam jumlah waktu tertentu. Setelah mendapatkan nilai torsi barulah kita dapat menghitung besar daya yang dapat dihasilkan oleh *flywheel* tersebut. Besar daya tersebut dapat diketahui menggunakan persamaan (2.4). [6]

#### 3. Perhitungan efisiensi mesin

Perhitungan ini dimaksudkan untuk mengetahui efisiensi yang dihasilkan oleh *flywheel*. Perhitungan efisiensi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.5). [6]

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. HASIL PENGUJIAN

#### 4.1.1 Hasil Pengukuran power supply

Dalam pengujian kali ini langkah pertama yang diukur adalah mengukur input pada *power supply* dan output pada *power supply* menggunakan Wattmeter, Voltmeter, Amperemeter dan Tachometer. Hasil pengukuran inputan *power supply* dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini :

Tabel 3. Hasil pengukuran input pada power supply

Waktu (Detik)	Tegangan (Volt)			Arus (Ampere)			Daya ( watt)			Kecepatan (RPM)		
	Per.1	Per.2	Per.3	Per.1	Per.2	Per.3	Per.1	Per.2	Per.3	Per.1	Per.2	Per.3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	210	203	202	2,06	1,55	1,5	324	324	289	2117	1982	1909
30	212	203	202	1,61	1,46	1,42	324	293	273	2760	2431	2370
45	212	204	202	15,1	1,42	1,3	308	274	270	2900	2495	2481

Pengujian dilakukan bertujuan untuk mengetahui berapa banyak daya, arus dan tegangan yang dipakai. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali pengukuran agar dapat membedakan yang terukur di input *power supply* dan output yang terukur di *power supply*. Nilai yang terukur pada input *power supply* ini masih banyak rugi-rugi yang terjadi pada trafo sehingga nilai yang terukur pada *power supply* sangat berbeda dengan nilai yang terukur di output *power supply*.

Nilai yang terukur pada *power supply* masih berupa tegangan AC (*Alternating current*). Untuk *power supply* yang digunakan disini berupa *power supply* 24 Volt dengan arus 10 Ampere, langkah selanjutnya adalah mengukur keluaran pada *power supply*. Hasil pengukuran output pada *power supply* seperti pada Tabel 5 berikut ini :

Tabel 5 Pengukuran output pada power supply

Waktu (Detik)	Tegangan (Volt)			Arus (Ampere)			Daya ( watt)			Kecepatan (RPM)		
	Per.1	Per.2	Per.3	Per.1	Per.2	Per.3	Per.1	Per.2	Per.3	Per.1	Per.2	Per.3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	26,5	25,6	26,7	4,74	3,66	3,48	93	89	89	1578	1982	1909
30	27,5	26,9	27,8	2,65	2,35	2,37	98	93	96	2306	2431	2370
45	28,2	28,2	28,2	2,27	2,23	2,16	100	94	97	2504	2495	2481

Pada percobaan kali ini hampir sama dengan pengukuran sebelumnya namun yang berbeda dari pengukuran ini yaitu dilakukan pengukuran pada output *power supply* yang mana keluaran *power supply* ini berupa tegangan DC (*Direct current*) yang digunakan untuk memutar motor. Pada percobaan pertama ini motor memerlukan torsi yang besar untuk dapat memutar berat *flywheel* sehingga motor memerlukan arus yang besar agar memiliki torsi yang besar. Dapat dilihat pada detik ke 15 arus yang terukur sebesar 4,47 Ampere dengan tegangan 26,5 Volt dengan kecepatan *flywheel* 1578 RPM, akan tetapi pada percobaan selanjutnya yaitu pada detik 30 dan 45 terjadi perubahan, salah satunya pada percobaan ke 45 detik ini tegangan yang terukur sebesar 28,2 Volt, arus 2,27 Ampere dan daya sebesar 100 Watt dan kecepatan *flywheel* sebesar 2504 RPM. Hal ini dikarenakan pada saat *start* awal motor memerlukan torsi yang besar untuk dapat memutar *flywheel*.

Semakin besar arus listrik masuk maka semakin besar juga torsi yang dihasilkan motor. Dapat dilihat pada Tabel 4 arus yang terukur pada saat awal sampai pada saat detik ke 45 mengalami penurunan karena pada *start* awal motor memerlukan torsi yang besar. Nilai tegangan yang terukur semakin lama semakin bertambah dan kecepatan yang terukur juga semakin bertambah. Tegangan sangat berpengaruh terhadap kecepatan putar motor, semakin besar tegangan maka semakin besar kecepatan motor.

#### 4.1.2 Hasil Pengukuran Generator

Untuk pengukuran disini motor yang awalnya digunakan sebagai penggerak (mode penggerak) berubah fungsi sebagai generator atau bisa disebut (mode penyuplai). Dalam pengukuran ini dibutuhkan saklar otomatis yang mana pada saat diberi sumber saklar dapat menghubungkan ke motor namun pada saat di putus dari sumber saklar menghubungkan ke beban. Sehingga digunakanlah relay DPDT (double pole double throw) yang berguna sebagai saklar atau switch otomatis untuk memudahkan proses pengujian. Pertama, motor disupply dengan *power supply* 24 Volt sampai berputar sampai kecepatan maksimum yaitu sekitar 2500 RPM setelah kecepatan motor maksimum maka *supply* motor dari *power supply* di putus. Setelah diputus dari *power supply* sehingga *flywheel* dapat berputar selama 1 menit 20 detik. Pada proses inilah motor DC yang awalnya digunakan sebagai mode penggerak dirubah sebagai mode penyuplai menggantikan peran generator. Untuk pengukuran pertama yaitu pengukuran generator tanpa beban

##### 4.1.2.1 Generator tanpa beban tanpa dicouple flywheel



Gambar 7 Rangkaian generator tanpa beban motor tanpa *flywheel*

Pengujian ini bertujuan untuk melihat output yang dihasilkan dari generator dalam keadaan tanpa beban. Data hasil pengukuran yang dilakukan selama 3 kali pengukuran hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 6

Tabel 6 Pengukuran generator tanpa beban motor tanpa *flywheel*

Percobaan	waktu (Detik)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)	Kecepatan (RPM)
Ke-1	0,18	0,9	0	0	245
Ke-2	0,17	0,7	0	0	257
Ke-3	0,19	0,8	0	0	243

Pada pengujian ini motor DC tidak dicouple dengan *flywheel* sehingga data yang didapat pada pengujian ini setelah motor diputus dari sumber pada percobaan ke-1 hanya mampu berputar 0,18 detik, ke-2 selama 0,17 detik dan ke-3 selama 0,19 detik dan untuk nilai tegangan yang terukur terbilang sangat sangat kecil sekitar 0,9 Volt



##### 4.1.2.2 Generator tanpa beban motor dicouple flywheel

Gambar 8 Rangkaian generator tanpa beban motor dicouple *flywheel*

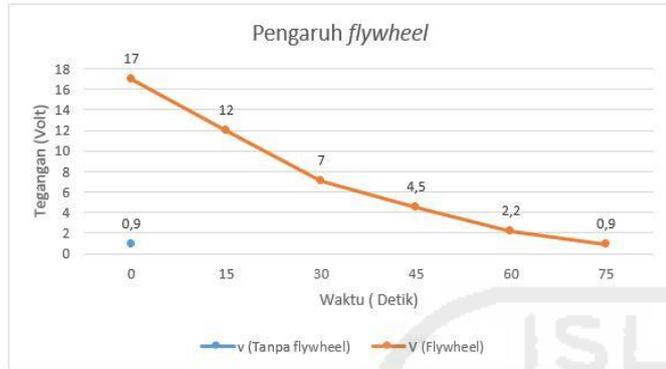
Pada pengujian ini hampir sama dengan pengujian sebelumnya yang membedakan hanya saja pada pengujian ini motor DC dicouple dengan *flywheel* sehingga data dapat dilihat pada tabel 7 dibawah ini:

Tabel 7 Pengukuran generator tanpa beban motor dicouple *flywheel*

Waktu (Detik)	Tegangan (Volt)			Arus (Ampere)			Daya ( watt)			Kecepatan (RPM)		
	Per.1	Per.2	Per.3	Per.1	Per.2	Per.3	Per.1	Per.2	Per.3	Per.1	Per.2	Per.3
1	17	16,9	17,5	0	0	0	0	0	0	2485	2479	2490
15	12	12,4	11,8	0	0	0	0	0	0	2338	2339	2334
30	7	7,4	7,7	0	0	0	0	0	0	1479	1613	1620
45	4,5	4,5	4,7	0	0	0	0	0	0	828	1054	828
60	2,2	2,3	2,5	0	0	0	0	0	0	554	638	543
75	0,9	0,8	1	0	0	0	0	0	0	274	347	347

Tabel 7 diatas merupakan tabel pengukuran generator tanpa beban yang mana tabel tersebut terdiri dari nilai arus, tegangan, arus dan daya. Pengambilan data pengujian dilakukan sebanyak 3 kali percobaan. Dapat dilihat pada Tabel 7

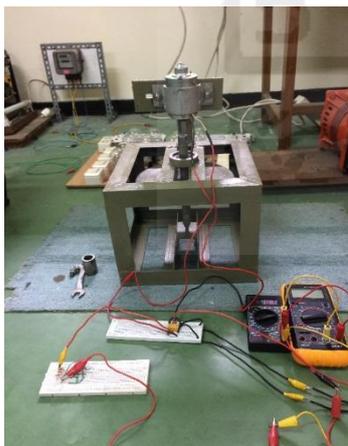
Dari tabel diatas maka perbandingan tegangan yang dihasilkan dan pengaruh *flywheel* terhadap kinerja motor dapat dilihat pada grafik dibawah ini:



Gambar 9 Grafik perbandingan tegangan

Pegambilan data dilakukan sebanyak 3 kali percobaan. Dapat dilihat pada tabel 4.3 pengukuran generator ini menghasilkan tegangan pada awal diputus dari sumber sebesar 0,9 yang mana pada percobaan ini generator tanpa *dicouple flywheel* dan hanya mampu berputar selama 0,18 detik, sedangkan pada tabel 4.4 atau percobaan yang mana generator *dicouple flywheel* tegangan yang dihasilkan 17 volt dan yang terukur dalam pengukuran ini hanya tegangan saja, dalam kondisi ini arus dan daya yang terukur adalah 0 dikarenakan tidak adanya beban, pada grafik diatas tegangan yang terukur mengalami penurunan pada detik selanjutnya setelah diputus dari sumber dikarenakan RPM dari *flywheel* semakin lama semakin melambat, untuk pengukuran kedua hampir sama dengan pengukuran yang sebelumnya yang membedakan pada pengukuran ini menggunakan beban, beban yang digunakan adalah beban resistif berupa resistor senilai 1K

#### 4.1.2.3 Generator berbeban motor tanpa *dicouple flywheel*



Gambar 10 Rangkaian generator berbeban motor tanpa *dicouple flywheel*

Pengambilan data pada pengukuran ini dilakukan sebanyak 3 kali percobaan dan beban yang digunakan adalah beban

resistif berupa resistor senilai 1K, beban di rangkai paralel sampai dengan daya yang terukur pada alat ukur mencapai daya maksimal. Data hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 8

Tabel 8 Hasil pengukuran generator berbeban motor tanpa

Beban R 1K	Tegangan (Volt)			Arus (Ampere)			Daya (Watt)		
	Per.1	Per.2	Per.3	Per.1	Per.2	Per.3	Per.1	Per.2	Per.3
1	0,8	0,8	0,7	0,00015	0,00015	0,00015	0,00012	0,00012	0,00011
2	0,7	0,7	0,7	0,00018	0,00017	0,00017	0,00013	0,00012	0,00012
3	0,8	0,7	0,8	0,00016	0,00018	0,00016	0,00013	0,00013	0,00013
4	0,7	0,8	0,8	0,00017	0,00017	0,00018	0,00012	0,00014	0,00014
5	0,8	0,8	0,7	0,00019	0,00019	0,00018	0,00015	0,00015	0,00013
6	0,8	0,7	0,8	0,00019	0,0002	0,00019	0,00015	0,00014	0,00015
7	0,9	0,9	0,9	0,0002	0,00022	0,00021	0,00018	0,0002	0,00019
8	0,8	0,8	0,7	0,00016	0,00018	0,00017	0,00013	0,00014	0,00012
9	0,7	0,8	0,8	0,00015	0,00017	0,00016	0,00011	0,00014	0,00013
10	0,7	0,7	0,7	0,00017	0,00015	0,00015	0,00012	0,00011	0,00011

Kecepatan (RPM)			Waktu berputar		
Per.1	Per.2	Per.3	Per.1	Per.2	Per.3
245	236	237	0,20 detik	0,19 detik	0,18 detik
257	247	243	0,18 detik	0,20 detik	0,19 detik
243	227	230	0,17 detik	0,18 detik	0,17 detik
237	237	242	0,18 detik	0,17 detik	0,17 detik
245	251	235	0,17 detik	0,18 detik	0,17 detik
243	246	247	0,17 detik	0,17 detik	0,18 detik
234	242	238	0,16 detik	0,18 detik	0,16 detik
253	244	251	0,17 detik	0,18 detik	0,17 detik
248	235	234	0,18 detik	0,18 detik	0,18 detik
248	244	214	0,16 detik	0,17 detik	0,16 detik

*dicouple flywheel*

Pada tabel 4.5 diatas motor tanpa *dicouple* dengan *flywheel* hanya dapat berputar selama 0,19 detik setelah motor diputus dari sumber dengan kecepatan sekitar 248 RPM dan nilai tegangan yang terukur terbilang kecil sebesar 0,9 Volt. Untuk pengujian selanjutnya hampir sama dengan pengujian sebelumnya yang membedakan disini pengujian generator berbeban *dicouple* motor dengan *flywheel*.

#### 4.1.2.4 Generator berbeban motor *dicouple* dengan *flywheel*



Gambar 11 Rangkaian generator berbeban motor *dicouple flywheel*

Pengambilan data pada pengujian ini dilakukan sebanyak 3 kali percoaan sama dengan pengujian yang sebelumnya dan beban yang digunakan adalah beban resistif berupa resistor 1K, beban dirangkai paralel dengan resistor lainnya dengan daya yang terukur mencapai daya maksimal, dikatakan daya maksimal apabila perkalian antara tegangan dengan arus memiliki hasil yang lebih besar dibanding dengan beban yang lainnya.

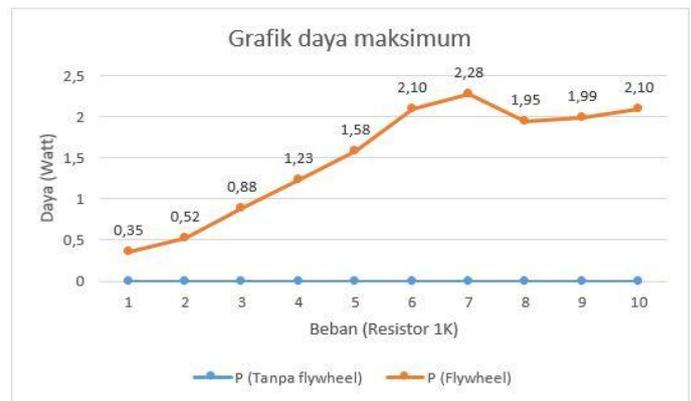
Tabel 9 Hasil pengukuran generator berbeban motor *dicouple flywheel*

Beban R 1K	Tegangan (Volt)			Arus (Ampere)			Daya (Watt)		
	Per.1	Per.2	Per.3	Per.1	Per.2	Per.3	Per.1	Per.2	Per.3
1	17,5	17,5	17,3	0,02	0,02	0,02	0,35	0,35	0,35
2	17,4	17,6	17,5	0,03	0,03	0,03	0,52	0,53	0,53
3	17,6	17,5	17,6	0,05	0,05	0,05	0,88	0,88	0,88
4	17,6	17,6	17,5	0,07	0,07	0,07	1,23	1,23	1,23
5	17,5	17,6	17,6	0,09	0,08	0,09	1,58	1,41	1,58
6	17,5	17,5	17,6	0,12	0,12	0,12	2,10	2,10	2,11
7	17,5	17,8	17,8	0,13	0,13	0,13	2,28	2,31	2,31
8	17,7	16,5	16,9	0,11	0,11	0,12	1,95	1,82	2,03
9	16,6	17,4	17,4	0,12	0,12	0,12	1,99	2,09	2,09
10	17,5	17,3	17,3	0,12	0,12	0,12	2,10	2,08	2,08

Kecepatan (RPM)			Waktu berputar		
Per.1	Per.2	Per.3	Per.1	Per.2	Per.3
2306	2295	2211	1 menit 22 detik	1 menit 20 detik	1 menit 20 detik
2040	2310	2121	1 menit 22 detik	1 menit 21 detik	1 menit 22 detik
2200	2218	2300	1 menit 21 detik	1 menit 21 detik	1 menit 21 detik
2275	2040	2182	1 menit 22 detik	1 menit 22 detik	1 menit 20 detik
2260	2400	2174	1 menit 22 detik	1 menit 22 detik	1 menit 22 detik
2100	2206	2178	1 menit 22 detik	1 menit 22 detik	1 menit 22 detik
2211	2194	2264	1 menit 18 detik	1 menit 18 detik	1 menit 19 detik
2127	2164	2219	1 menit 18 detik	1 menit 18 detik	1 menit 19 detik
2218	2175	2254	1 menit 18 detik	1 menit 20 detik	1 menit 18 detik
2180	2206	2281	1 menit 20 detik	1 menit 20 detik	1 menit 20 detik

Tabel 9 diatas terdapat merupakan tabel generator berbeban yang mana motor disini *dicouple* dengan *flywheel*, pengukuran ini hampir sama dengan pengukuran generator tanpa beban. Perbedaan dalam pengujian ini dilakukan sampai mencapai daya maksimum dapat dikatakan daya maksimum adalah hasil dari perkalian tegangan dengan arus yang terukur pada beban lebih besar dibandingkan dengan pengukuran pada

beban lainnya. Dari tabel pengukuran diatas dapat diperoleh grafik daya maksimum pada gambar dibawah ini:



Gambar 12 Grafik daya maksimum

Dapat dilihat perbandingan daya maksimum yang dihasilkan antara motor yang *dicouple flywheel* dengan motor tanpa *dicouple flywheel* daya maksimum yang terukur pada motor yang *dicouple flywheel* pada saat beban ke-7 dapat dilihat pada beban ini tegangan dan arus yang terukur lebih besar dibanding dengan beban yang lainnya, untuk memastikan daya maksimum pada pengukuran dilakukan penambahan beban sebanyak 3 kali setelah beban ke-7, untuk percobaan saat motor tanpa *dicouple flywheel* tegangan dan arus yang terukur terbilang cukup kecil dibandingkan dengan motor yang *dicouple flywheel*

#### 4.2 Perhitungan

Pada tahap ini dilakukan pengukuran untuk dapat menghitung berbagai parameter pendukung mesin *flywheel* tersebut. Perhitungan yang dilakukan antara lain.

##### a. Momen inersia

Untuk perhitungan momen inersia ini dilakukan 3 kali perhitungan dikarenakan model dari *flywheel* yang mencapai 3 lapisan untuk lapisan pertama perhitungan momen inersia yang dihasilkan oleh *flywheel* adalah sebagai berikut, perhitungan menggunakan persamaan (2.2)

$$= (1/2) 0,75 \cdot (0,045)^2$$

$$= 0,00075 \text{ Kg m}^2$$

Perhitungan momen inersia *flywheel* lapisan kedua adalah sebagai berikut :

$$= (1/2) 0,75 \cdot (0,065)^2$$

$$= 0,00158 \text{ Kg m}^2$$

Perhitungan momen inersia *flywheel* lapisan ketiga adalah sebagai berikut:

$$= (1/2) 4,5 \cdot (0,11)^2$$

$$= 0,272 \text{ Kg m}^2$$

Sehingga momen inersia totalnya adalah

$$I_{tot} = I_{pertama} + I_{kedua} + I_{ketiga}$$

$$= 0,00075 + 0,00158 + 0,272$$

$$= 0,27425 \text{ Kg m}^2$$

Torsi dapat diketahui melalui perhitungan pada persamaan (2.3)

$$\tau = I_{tot} \cdot \alpha$$

$$= 0,27425 \times 26$$

$$= 0,767 \text{ Nm}$$

- b. Perhitungan daya yang dihasilkan *flywheel* dapat dihitung menggunakan persamaan (2.4)

$$P = \frac{2\pi \cdot 736 \cdot 0,767}{60} = 5,32 \text{ Watt}$$

- c. Perhitungan efisiensi dapat dihitung menggunakan persamaan (2.5)

Nilai efisiensi mesin *flywheel* berdasarkan teori :

$$\eta = \frac{5,32}{100} 100\% = 0,532 \%$$

Nilai efisiensi mesin *flywheel* berdasarkan pengukuran:

$$\eta = \frac{2,28}{100} 100\% = 0,0229$$

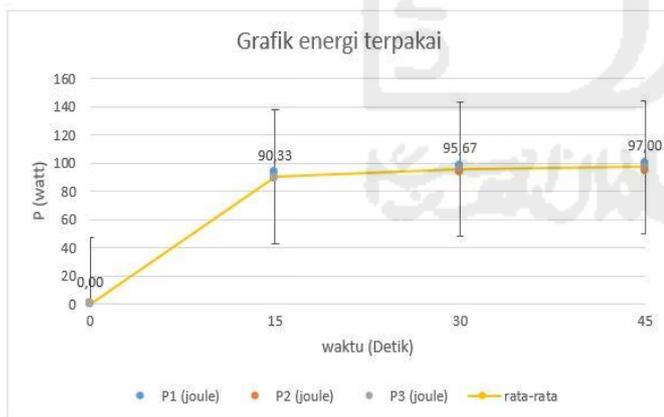
#### 4.3 Pembahasan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa *flywheel* dapat bergerak dengan ketahanan putaran saat dilepas dari *power supply* yaitu dari kecepatan 2500 RPM sampai dengan 0 RPM dan dapat bertahan selama 1 menit 20 detik. Kecepatan putaran rata-rata saat tegangan dihasilkan sekitar 2230 RPM dengan tegangan, arus dan daya yang dihasilkan akan mengalami penurunan pada detik selanjutnya dikarenakan putaran *flywheel* semakin berkurang, pembuatan alat ini masih banyak terjadi gesekan sehingga berkurangnya kecepatan berputar sehingga berdampak kepada nilai efisiensi.

Penelitian yang dilakukan belum dapat menghasilkan keluaran energi listrik yang maksimal, yaitu nilai efisiensi dari *flywheel* 0,213 %. Dapat dilihat dari energi tersimpan dan energi yang terpakai pada saat motor distart dan mencapai kecepatan maksimal sangat berbeda dapat dilihat pada grafik energi terpakai dibawah:

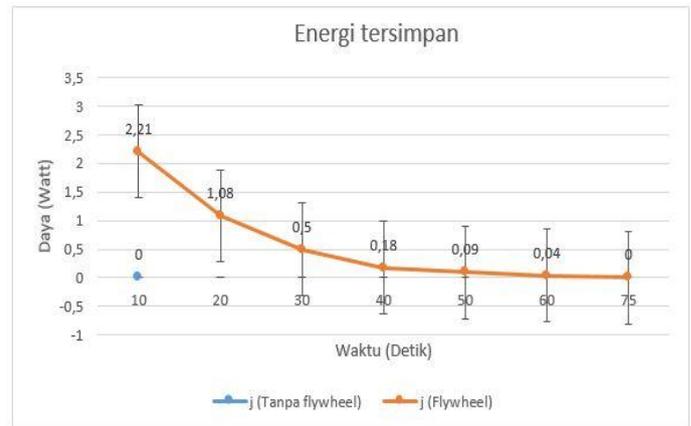
Gambar 13 Grafik energi terpakai

Gambar 13 tersebut merupakan grafik energi yang terpakai



yang terdiri dari daya rata-rata dan nilai standar deviasi untuk nilai daya disini dari awal motor dihidupkan hingga mencapai kecepatan maksimum tetap stabil. Sedangkan untuk nilai standar deviasi ditunjukkan dalam bentuk garis vertikal pada titik energi rata-rata dari 3 kali percobaan di setiap waktu yang

ditentukan. Berikut ini energi yang tersimpan dan dapat dilihat pada grafik dibawah ini :



Gambar 14 Grafik energi tersimpan

Diagram diatas adalah diagram perbandingan energi tersimpan yang mana terdiri dari nilai energi yang tersimpan dan nilai standar deviasi, untuk energi tersimpan pada saat disuplai dan mencapai kecepatan 2500 RPM dan putus dari suplai menghasilkan energi sebesar 2,21 joule, pada saat ini motor dicouple dengan *flywheel* dan mengalami penurunan untuk detik selanjutnya dikarenakan semakin lama putaran *flywheel* semakin melambat dapat dilihat pada, namun dari pengujian ini dapat diketahui bahwa energi yang terpakai dapat digunakan kembali untuk menghasilkan energi yang baru

## V. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis performa roda-gila (*flywheel*) dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. *Flywheel* sangat berpengaruh pada putaran generator saat sumber diputus, waktu bertahan putar selama 1 menit 20 detik
2. Kecepatan motor sangat berpengaruh kepada kecepatan yang dihasilkan pada *flywheel*
3. *Flywheel* dapat menyimpan energi yang berlebih kemudian menggunkannya kembali saat diperlukan
4. Energi yang dihasilkan oleh model penyimpanan energy berbasis roda-gila (*flywheel*) adalah 2.29 joule
5. Nilai efisiensi yang dapat dihasilkan oleh *flywheel* dengan diameter 22cm dan berat 6 kg berdasarkan teori adalah 0.53%, sedangkan berdasarkan pengukuran adalah 0,22%

### 5.2 Saran

1. Penelitian yang telah dilakukan dapat dilanjutkan dengan mengganti model sistem penyimpanan serta ukuran *flywheel*
2. Mengurangi gaya gesekan pada sistem ini karena gaya gesek sangat mempengaruhi kinerja dari *flywheel*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Moh. Syaikhu Aminudin. *Studi Aplikasi Flywheel Energi Storage Untuk Meningkatkan Dan Menjaga Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (pltmh)*. Institut Teknologi Sepuluh November. 2010.
- [2] Qodari M. Chasan. *Motor DC dan Generator DC*. Departemen Pendidikan Joint Program Malang Teknik Elektro 2009
- [3] Arief Setiarso. *Studi Eksperimental Pengaruh Penambahan Flywheel Terhadap Karakteristik Energi Bangkitan Pada Micropower Generator Tipe Radial Topology*. Institusi Teknologi Sepuluh November.
- [4] Saripuddin M, Suradi. *Analisa Pengaruh Berat Roda Gila (Flywheel) terhadap Akeselerasi Kendaraan*. Teknik Universitas Islam Makassar. 2011.
- [5] Herman Yani. *Studi Tentang Roda Gila Motor-Generator Induksi Untuk Penyimpanan Energi Listrik*. Universitas Gajah Mada. 2011
- [6] Manab rahmad chandra. *Rancang Bangun Model Mesin Stirling Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya Termal*. Universitas Islam Indonesia. 2015

