

ANALISA HUBUNGAN MASSA DENGAN PENYIMPAN ENERGI MENGGUNAKAN VARIASI MASSA FLYWHEEL 30 KG, 45 KG DAN 60 KG

Novia Syahfitri Rahmadani ; Ir. Amin Sulistyanto, S.T., M.T.

Program studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan manusia yang sangat penting dan vital yang tidak dapat dilepaskan dari keperluan sehari-hari manusia. Kekurangan energi listrik dapat mengganggu aktivitas manusia. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pembangkit listrik tenaga *flywheel* dengan variasi massa *flywheel* 30 kg, 45 kg, dan 60 kg untuk menentukan massa *flywheel* yang paling efisien dan mengetahui energi kinetik yang bekerja pada *flywheel*. Hasil penelitian didapatkan nilai massa *flywheel* berbanding lurus dengan daya yang diperlukan motor listrik dan daya yang dihasilkan generator. Setiap *pulley* yang bekerja pada pembangkit listrik tenaga *flywheel* memiliki kecepatan putaran yang berbeda tergantung rasio dari *pulley*. Nilai efektivitas daya terendah pada *flywheel* 30 kg dengan presentasi efektivitas sebesar 0%. Kemudian efektivitas tertinggi didapatkan pada *flywheel* 60 kg dengan nilai efektivitas sebesar 46,02%. Daya yang dihasilkan dari generator *flywheel* 30 kg tidak dapat menggerakkan motor listrik kembali. Untuk *flywheel* 45 kg mampu menggerakkan motor listrik selama 1 jam, dan untuk *flywheel* 60 kg dapat menggerakkan motor listrik selama 12 jam dalam kondisi tanpa beban. Energi kinetik yang bekerja pada *flywheel* dengan massa 30 kg, 45 kg, dan 60 kg berturut-turut yaitu sebesar 21,14 Joule, 57,26 Joule, dan 284,44 Joule. Nilai energi kinetik terendah pada massa *flywheel* 30 kg dan energi kinetik tertinggi bekerja pada massa *flywheel* 60 kg.

Kata Kunci: *Flywheel*, generator, pembangkit listrik

Abstract

Electrical energy is one of the most important and vital human needs that cannot be separated from human daily needs. Lack of electrical energy can interfere with human activities. This study aims to analyze flywheel power plants with flywheel mass variations of 30 kg, 45 kg, and 60 kg to determine the most efficient flywheel mass and determine the kinetic energy acting on the flywheel. The results showed that the mass value of the flywheel is directly proportional to the power required by the electric motor and the power produced by the generator. Each pulley that works on the flywheel power plant has a different rotation speed depending on the ratio of the pulleys. The lowest power effectiveness value is on the 30 kg flywheel with an effectiveness presentation of 0%. Then the highest effectiveness was obtained on the 60 kg flywheel with an effectiveness value of 46,02%. The power generated from the 30 kg flywheel generator cannot drive the electric motor back. The 45 kg flywheel can drive the electric motor for 1 hour, and the 60 kg flywheel can drive the electric motor for 12 hours without load. The kinetic energy acting on the flywheel with a mass of 30 kg, 45 kg and 60 kg respectively is 21,14 Joules, 57,26 Joules and 284,22 Joules. The lowest kinetic energy value is at a flywheel mass of 30 kg and the highest kinetic energy is at a flywheel mass of 60 kg.

Keywords: *Flywheel*, generator, power plant

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan manusia yang sangat penting dan vital yang tidak dapat dilepaskan dari keperluan sehari-hari manusia. Listrik sangat bermanfaat dalam kehidupan di era modern seperti ini karena tanpa listrik, manusia hampir tidak dapat melakukan pekerjaan yang ada dengan baik atau pun memenuhi kebutuhannya. Kekurangan energi listrik dapat mengganggu aktivitas manusia. Mengingat besarnya manfaat energi listrik mengakibatkan ketersediaan sumber energi listrik menjadi terbatas. Saat ini, ketersediaan sumber energi listrik tidak mampu memenuhi peningkatan kebutuhan listrik di Indonesia salah satunya penggunaan listrik rumah tangga. Rumah tangga merupakan salah satu sektor negara dengan konsumsi energi 23% dari konsumsi energi total seluruh sektor (Saptono, 2010).

Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan maka manusia terus berpikir untuk memenuhi energi listrik di tengah semakin berkurangnya bahan bakar, dan salah satu cara yang berkembang saat ini adalah energi baru dan terbarukan yaitu pembangkit listrik yang dianggap tidak akan berkurang bahkan habis karena sistem dari energi baru dan terbarukan ini berasal dari energi alam yang terus berkelanjutan seperti tenaga matahari, aliran air, angin dan juga panas bumi. Energi baru dan terbarukan ini dianggap ramah lingkungan atau tidak merusak lingkungan karena tidak terjadi pembakaran bahan bakar yang menghasilkan asap yang terbuang ke udara. Dari beberapa sumber penggerak turbin PLN saat ini, ternyata pemenuhan akan energi listrik itu masih belum seimbang dengan kebutuhan masyarakat sehingga tidak jarang diadakan pemadaman listrik secara bergilir yang mengakibatkan beberapa alat rumah tangga untuk membantu kegiatan manusia tidak dapat beroperasi.

Berdasarkan permasalahan di atas sehingga diperlukan suatu rancangan pembangkit listrik berupa generator alternatif yang tidak menggunakan bahan bakar ataupun energi alam dalam penggunaannya, maka peran dari sebuah alat penyimpan energi menjadi sangat penting agar generator tetap stabil berputar dan menghasilkan listrik. Dari sekian banyak media penyimpan energi yang ada salah satu media yang dapat menyimpan energi yang berlebih kemudian menggunakannya kembali saat diperlukan adalah menggunakan *flywheel* (roda gila). *Flywheel* atau sering juga disebut roda gila seperti yang kita ketahui adalah sebuah komponen yang merupakan sebuah piringan yang karena beratnya dapat menahan perubahan kecepatan yang drastis sehingga gerak putaran poros mesin menjadi lebih halus. *Flywheel* memiliki daya yang tinggi, pengisian energinya lebih besar dan siklus kerjanya bertahan lama (Kim. J.Seong, et al, 2014).

Dalam proses konversi energi antara motor listrik ke *flywheel* kemudian dari *flywheel* ke generator dan menghasilkan energi listrik kembali dapat dilakukan beberapa analisa, sehingga proses dapat berjalan dengan maksimal.

1.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang sudah diuraikan, berikut tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisa daya yang diperlukan motor listrik untuk memutar *flywheel* dengan massa 30 kg, 45 kg, dan 60 kg.
2. Menganalisa daya yang dihasilkan generator listrik untuk menggunakan *flywheel* dengan massa 30 kg, 45 kg, dan 60 kg.
3. Mengetahui kecepatan putaran setiap *pulley* pada pembangkit listrik tenaga *flywheel*.
4. Menganalisa efektivitas daya pembangkit listrik tenaga *flywheel* dengan menggunakan massa *flywheel* 30kg, 45 kg, dan 60 kg.
5. Mengetahui berapa lama generator dapat menyalakan motor listrik kembali dengan menggunakan *flywheel* 30kg, 45 kg, dan 60 kg.
6. Menganalisa energi kinetik yang bekerja pada *flywheel* 30kg, 45 kg, dan 60 kg.

1.3 Tinjauan Pustaka

Muh. Aksan Jaya et al., (2022) melakukan penelitian tentang perencanaan pembangkit listrik berbasis *flywheel* ganda (*dual flywheel based power plant planning*). *Flywheel energy storage system* merupakan salah satu yang bisa dikembangkan, dengan adanya energi kinetik yang dimiliki oleh *flywheel* memungkinkan untuk menaikkan kapasitas penyediaan energi. Tujuan penelitian ini adalah merancang dan menguji pembangkit energi berbasis *flywheel*. Metode perencanaan adalah metode perhitungan elemen mesin. Berdasarkan hasil perhitungan perencanaan didapatkan kecepatan sudut *flywheel* sebesar 181,42 rad/s, torsi sebesar 4,28 Nm dan energi kinetik sebesar 5.825 Joule. Daya perencanaan didapatkan sebesar 2,086 kW dan putaran poros generator sebesar 1.733 rpm. Perhitungan perbandingan *pulley* motor listrik dan *flywheel* sebesar 1,3 dan perbandingan *pulley flywheel* dan generator sebesar 1. Untuk mengetahui ukuran sabuk-V yang digunakan dapat dihitung dengan membagi panjang sabuk (L) yang didapatkan dibagi dengan satuan sabuk. Satu angka sabuk = 1 inchi atau 25,4 mm. Panjang sabuk yang didapatkan dari hasil perhitungan adalah 1.080 mm (motor listrik ke *flywheel*) dan 1.134 mm (*flywheel* ke generator) atau sabuk berukuran A-43 dan A-45. Kecepatan keliling/linier motor listrik dan *flywheel* didapatkan sebesar 9 m/s dan 7 m/s, gaya keliling motor listrik-*flywheel* sebesar 23,1 kg dan *flywheel*-generator 31 kg. Tegangan sabuk motor listrik-*flywheel* 57,93 kg² dan 62,87 kg/cm², jumlah putaran sabuk motor listrik *flywheel* sebesar 8,5 per detik dan *flywheel*-generator 6,1 per detik. Hasil perhitungan perencanaan pembangkit listrik berbasis *flywheel* didapatkan

kecepatan sudut *flywheel* (ω) sebesar 181,42 rad/s, momen inersia 0,35 kg/m², torsi 4,28 Nm, energi kinetik 5.825 Joule. Perbandingan putaran motor listrik-*flywheel* sebesar 1,3 dan *flywheel*-generator 1, ukuran V Belt motor listrik *flywheel* adalah A-43 dan *flywheel*-generator A-45.

Jumadi Tangko et al., (2021) melakukan penelitian tentang analisis pembangkit listrik berbasis *flywheel*. Pada pembangkit listrik berbasis *flywheel* dilakukan pengujian berupa putaran, daya pembangkitan generator dalam keadaan tanpa beban maupun keadaan berbeban, dan waktu yang dibutuhkan pembangkit ini untuk bertahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan sistem pembangkit listrik berbasis *flywheel* pada kondisi tanpa suplai cadangan untuk motor dalam keadaan generator tanpa beban hanya mampu membangkitkan daya maksimum sebesar 860,1 W selama 22 detik. Hal ini disebabkan tidak adanya suplai cadangan untuk motor sehingga mengakibatkan terjadinya pengereman regeneratif pada generator. Kemampuan sistem pembangkit listrik berbasis *flywheel* pada kondisi tanpa suplai cadangan untuk motor dalam keadaan generator berbeban hanya mampu membangkitkan daya maksimum sebesar 708,75 W selama 18 detik, hal ini menunjukkan dengan pemberian beban pada generator mengakibatkan kemampuan pembangkit ini membangkitkan semakin singkat. Rugi-rugi total pada pembangkit listrik berbasis *flywheel* adalah sebesar 2817,87 W dengan efisiensi 30 %.

Ruslim et al., (2021) melakukan penelitian tentang perancangan pembangkit listrik alternatif dengan memanfaatkan *flywheel* sebagai penyimpan energi berdaya 1 kW. Pembangkit listrik yang berbasis *free energy* menjadi solusi alternatif dalam mencukupi ketersediaan energi listrik. *Free energy* merupakan metode pemanfaatan energi tanpa menggunakan bahan bakar. Salah satu *free energy* yang dikembangkan adalah *flywheel* generator. Tujuan penelitian ini adalah merancang sistem pembangkit listrik dengan pemanfaatan *flywheel* sebagai penyimpan energi serta menghitung dan menganalisis daya *flywheel*. Penelitian dengan menggunakan *simulator* turbin angin *savonius prototype* menunjukkan bahwa *flywheel* yang digunakan memiliki momen inersia sebesar 0.00121 kg.m², dalam penggunaan *flywheel* menghasilkan kelebihan energi dengan persentase peningkatan rata-rata yaitu sebesar 58,0475% dan efisiensi dengan penggunaan *flywheel* disetiap penambahan beban tertinggi yaitu sebesar 0,004010 %. Dalam penelitian ini mengukur daya serap motor penggerak ketika diberi pembebanan menunjukkan bahwa dalam penggunaan *flywheel* dapat menghemat penggunaan sumber daya listrik untuk suplai ke motor penggerak, di mana tanpa penggunaan *flywheel* daya serap motor penggerak 1808 Watt, sedangkan dalam penggunaan *flywheel* daya serap motor hanya dibutuhkan 1.333 watt dengan beban alternator yang sama, dikarenakan dalam penggunaan *flywheel* motor penggerak mendapatkan bantuan energi dari sehingga motor tidak perlu mengeluarkan yang tenaga besar.

Ariffaiuddin dan Budijono, (2018) melakukan penelitian tentang rancang bangun *prototype* alat untuk meningkatkan energi listrik alternatif menggunakan *flywheel* generator. Rekayasa ini

bertujuan untuk mengetahui kinerja *Free Energy Flywheel Generator (Flywheel Energy Storage)* dalam menghasilkan energi listrik alternatif. Metode yang digunakan dalam rekayasa ini adalah rekayasa uji coba dengan analisis deskriptif kualitatif. Uji karakteristik kinerja alat ini meliputi putaran (rpm) *flywheel* 2200 rpm dengan motor listrik 1 HP, alternator 2500 Watt dengan beban *dummy load* (alat listrik). Rekayasa ini dapat meningkatkan energi listrik alternatif menggunakan *flywheel* generator dengan massa 80 kg, putaran 2200 rpm menggunakan penggerak 1 Hp, mampu meningkatkan energi listrik PLN 1100 Watt menjadi 1760 Watt dalam waktu kurang lebih dalam 1 menit.

Razali dan Stephan., (2016) melakukan penelitian tentang rancang bangun mesin pembangkit listrik tanpa BBM berkapasitas 3 kW dengan memanfaatkan putaran *flywheel*. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan suatu konsep efisiensi daya meningkat, menstabilkan tegangan keluaran generator dan mulai proses pembangkit listrik. Proses pembuatan mesin aplikasi *flywheel* generator mulai dari perancangan mekanik *flywheel*, mencari jumlah rotasi per menit dari generator (dengan percobaan), menemukan elemen mesin yang menggunakan (poros, bantalan dan roda gila), nilai output generator. Diperlukan maksimal 2.5 kW - 3 kW dengan 3000 rpm yang diberikan motor listrik. Massa roda gila 60 kg x 2 kg dan daya output maksimum dari generator 3 kW. Hasil pengujian kecepatan rotasi (rpm) *flywheel* yang dihasilkan sesuai dengan rancangan sebesar 1450 rpm, kecepatan rotasi (rpm) *flywheel* yang dihasilkan sebesar 1450 rpm diubah menjadi 3000 rpm melalui perubahan diameter *pulley*, alat ini memiliki output daya listrik yang 2 kali lipat lebih besar dari input nya.

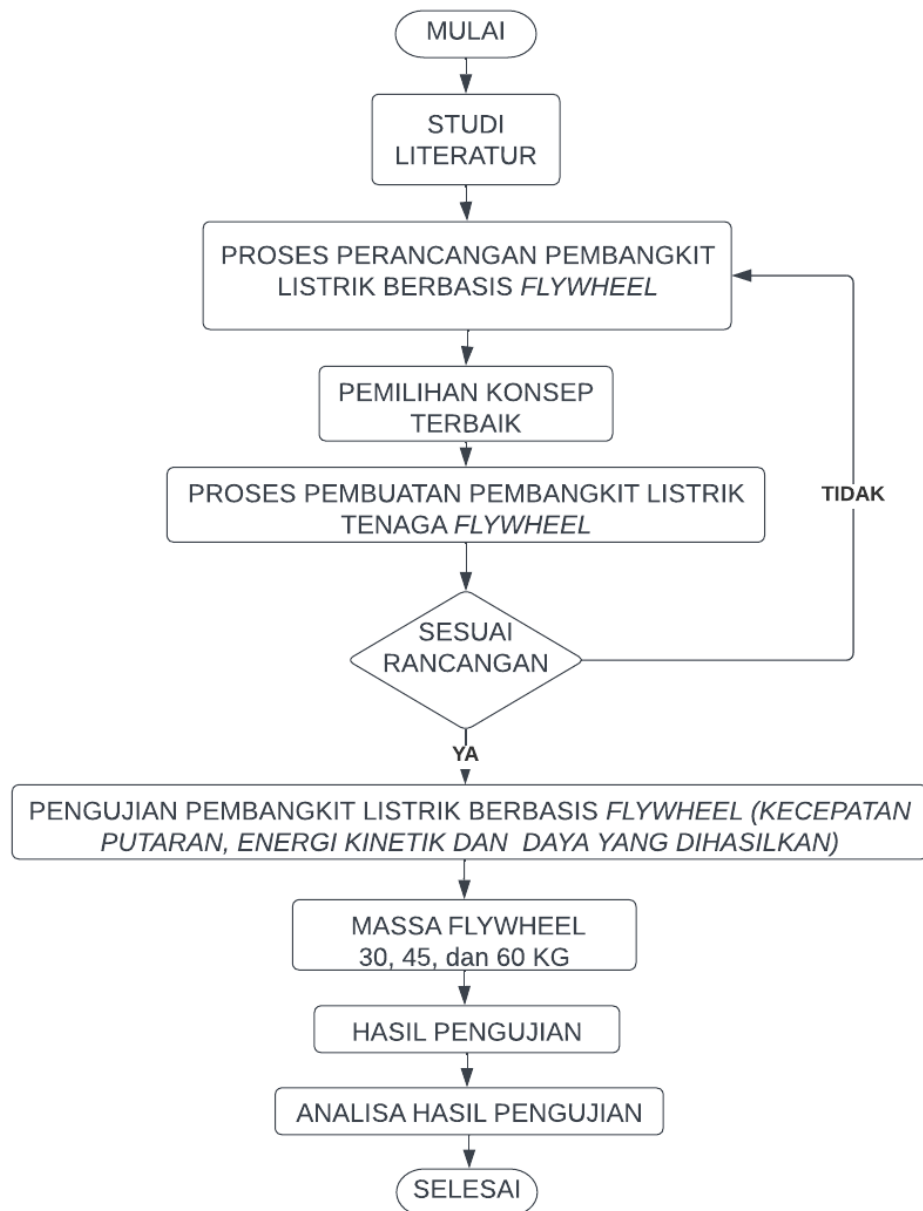
Keith Pullen., (2019) melakukan penelitian tentang *The Status and Future of Flywheel Energy Storage*. Penelitian ini berperan dalam transformasi sistem tenaga listrik menjadi sistem yang utuh berkelanjutan namun berbiaya rendah. Penelitian ini menggambarkan komponen utama yang membuat roda gila dikonfigurasi untuk penyimpanan listrik. Karakteristik *flywheel* yang kuat sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan cepat respon dan siklus harian yang tinggi.

Bjorn Bolund et al., (2005) melakukan penelitian tentang *Flywheel Energy and Power Storage Systems*. Salah satu masalah utama untuk konstruksi *flywheel* yang layak adalah efisiensi keseluruhan yang tinggi, sehingga terjadi pengurangan dari total kerugian. Dengan meningkatkan tegangan, kerugian arus berkurang dan sebaliknya diperlukan langkah-langkah transformator menjadi berlebihan. Sejauh ini roda gila di atas 10 kV belum dibangun, terutama karena masalah isolasi yang terkait dengan tegangan tinggi, tetapi juga karena keterbatasan daya elektronik. Kemajuan terbaru dalam teknologi semi-konduktor memungkinkan peralihan yang lebih cepat dan biaya yang lebih rendah. Bagian utama dari studi sebelumnya telah diarahkan untuk mengoptimalkan masalah mekanis sedangkan bagian elektro teknis sekarang tampaknya menunjukkan potensi besar untuk perbaikan. Gambaran tentang teknologi roda gila dan proyek

sebelumnya disajikan dan terlebih lagi roda gila 200 kW menggunakan tinggi teknologi tegangan disimulasikan.

2. METODE

2.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

2.2 Spesifikasi Bahan – Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini guna menunjang keberhasilan maka penulis menggunakan beberapa bahan sebagai berikut :

1. Media Penggerak

Penulis menggunakan motor listrik 1 HP untuk digunakan sebagai media penggeraknya dengan beberapa spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 1 Spesifikasi Motor Listrik

No	Besaran	Simbol	Nilai
1	Daya	P_{ML}	746 W
2	Tegangan	V_{ML}	220 V
3	Arus	I_{ML}	3,39 A
4	Frekuensi	F_{ML}	50 Hz
5	Kecepatan Putaran	ω_{ML}	1400 rpm
6	Faktor Daya	$\cos \phi$	0,499

2. Media Yang Digerakkan

Penulis menggunakan generator sebagai media yang digerakkan dengan beberapa spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 2 Spesifikasi Generator

No	Besaran	Simbol	Nilai
1	Daya	P_G	± 3000 W
2	Tegangan	V_G	230 V
3	Arus	I_G	± 13 A
4	Frekuensi	F	50 Hz
5	Kecepatan Putaran	ω_G	± 1500 rpm
6	Faktor Daya	$\cos \phi$	± 1

3. Media Pendukung

Selain menggunakan motor listrik sebagai media penggerak dan generator sebagai media yang digerakkan juga menggunakan beberapa media pendukung seperti, berikut :

4. Pulley

Penulis menggunakan *pulley* sebagai media yang digerakkan dengan beberapa spesifikasi sebagai, berikut :

Tabel 3 Spesifikasi Pulley

No Pulley	Besaran	Simbol	Nilai
<i>Pulley 1</i>	Diameter	d_1	100 mm
	Massa	m_1	0,25 kg

<i>Pulley 2</i>	Diameter	d_2	250 mm
	Massa	m_2	4 kg
<i>Pulley 3</i>	Diameter	d_3	150 mm
	Massa	m_3	1,55 kg
<i>Pulley 4</i>	Diameter	d_4	80 mm
	Massa	m_4	0,45 kg
<i>Pulley 5</i>	Diameter	d_5	200 mm
	Massa	M_5	1,9 kg
<i>Pulley 6</i>	Diameter	d_6	100 mm
	Massa	m_6	1,2 kg

5. Sabuk (*V-Belt*)

Penulis menggunakan *belt* sebagai media yang digerakkan dengan beberapa spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 4 Spesifikasi *Belt*

<i>Belt</i>	Besaran	Simbol	Nilai
Sabuk (<i>Belt</i>) Ke 1 Merk Mitsuboshi (Seri A – 47)	Panjang	p_2	47 mm
	Lebar	l_2	12,5 mm
	Tinggi	t_2	9 mm
	Massa	m_2	0,16 kg
Sabuk (<i>Belt</i>) Ke 2 Merk Mitsuboshi (Seri A – 33)	Panjang	p_2	849 mm
	Lebar	l_2	12,5 mm
	Tinggi	t_2	9 mm
	Massa	m_2	0,6 kg
Sabuk (<i>Belt</i>) Ke 2 Merk Mitsuboshi (Seri A – 50)	Panjang	p_2	1257 mm
	Lebar	l_2	12,5 mm
	Tinggi	t_2	9 mm
	Massa	m_2	0,2 kg

6. Roda Gila (*Flywheel*)

Penulis menggunakan *flywheel* sebagai media yang digerakkan dengan beberapa spesifikasi, sebagai berikut :

Tabel 5 Spesifikasi *Flywheel*

<i>Flywheel</i>	Besaran	Simbol	Nilai
Roda Gila (<i>Flywheel</i>) Ke 1	Diameter		0,43 m
	Massa		30 kg
	Tebal		6 cm
	Jumlah		2 buah
Roda Gila (<i>Flywheel</i>)	Diameter		0,32 m

<i>Flywheel</i>	Besaran	Simbol	Nilai
Ke 2	Massa		15 kg
	Tebal		5 cm
	Jumlah		1 buah

2.3 Alat – Alat Penelitian

Dalam penelitian ini guna menunjang keberhasilan maka penulis menggunakan beberapa alat-alat seperti, berikut :

1. Multimeter

Alat ini digunakan untuk mengukur bahan yang digunakan sebelum dan sesudah penelitian guna mengetahui berapakah tegangan serta arus yang dihasilkan.



Gambar 2 *Multimeter*

2. Tachometer

Alat ini digunakan untuk mengukur rotasi kecepatan dari sebuah obyek penelitian, obyek penelitian pada penelitian kali ini menggunakan mesin listrik.



Gambar 3 *Tachometer*

3. Clampmeter

Alat ini digunakan untuk mengukur berapakah *ampere* dari sebuah obyek penelitian, obyek penelitian pada penelitian menggunakan mesin listrik dan *generator* serta beban yang nantinya akan digunakan.



Gambar 4 *Clampmeter*

4. Buku, Bolpoin, dan Laptop

Alat ini digunakan untuk mencatat semua hasil penelitian dan digunakan dalam penyusunan laporan.

2.4 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di rumah penulis, tepatnya di Desa Brogo, Kecamatan Ngemplak, Kabupaten Boyolali, Jawa Tengah.

2.5 Prosedur Pembuatan Alat

Dalam penelitian ini guna menunjang keberhasilan maka penulis akan menerangkan prosedur pembuatan alat sebagai berikut :

1. Menyiapkan semua alat-alat yang akan digunakan dalam penelitian.
2. Menyiapkan dan mengukur besi yang digunakan sebagai rangka alat penelitian.
3. Melakukan penataan tata letak motor listrik, *flywheel*, dan generator pada rangka.
4. Mengukur jarak antar poros agar sesuai dengan ukuran panjang *v-belt* yang akan dipasang pada pulley.
5. Membuatudukan pada motor listrik, *flywheel*, dan generator dengan menggunakan baut.
6. Memasang *flywheel* pada poros, kemudian meletakkannya pada *bearing* dengan posisi yang center.
7. Setelah memastikan *flywheel* terpasang secara benar, selanjutnya memasang *pulley*.
8. Lalu memasang *v-belt* pada *pulley*.
9. Kemudian tahap terakhir, dengan melakukan pengecatan pada alat.

2.6 Realisasi Penelitian

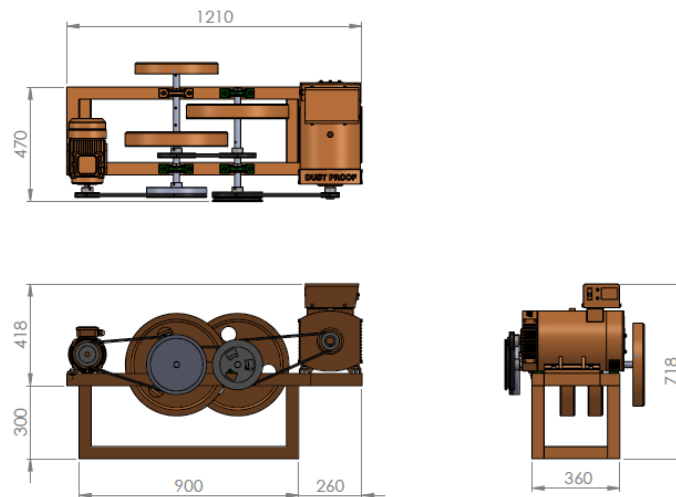
Dalam mensukseskan penelitian penulis akan merealisasikan dengan melakukan langkah-langkah penelitian seperti berikut :

1. Menyiapkan semua alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian.
2. Memastikan semua alat dan bahan yang akan digunakan dapat bekerja sebagaimana mestinya guna menunjang kinerja dalam penelitian dengan mengecek apakah "mesin listrik, generator dan beberapa komponen pendukung seperti *pulley*, *belt*, *flywheel*, poros dan *bearing*" dapat bekerja dengan baik.

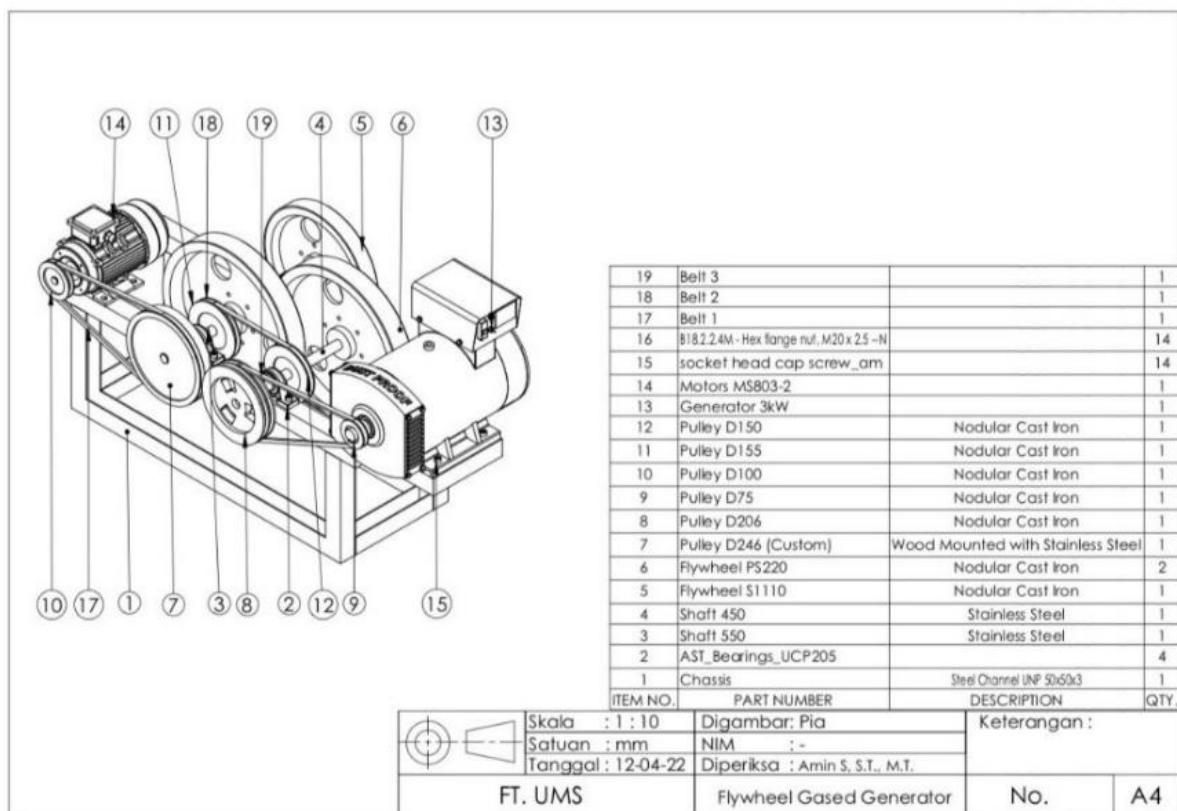
3. Setelah pengecekan penulis melanjutkan ketahap perakitan seperti,berikut ini :
- Menghubungkan media penggerak (motor listrik 1 HP) dengan PLN 900 VA guna memberikan sumber utama.
 - Setelah mesin listrik bekerja dan menghasilkan kecepatan putaran maka akan memutar semua *pulley* yang saling terhubung satu sama lain dengan *v-belt* berdasarkan perbandingan kecepatan antara penggerak dengan yang digerakkan.
 - Setelah semua *pulley* bekerja maka *flywheel* pun ikut bergerak sertamembantu guna kestabilannya proses pada penelitian.
 - Selanjutnya *pulley* menggerakkan generator yang telah tersedia maka dengan Bergeraknya generator ini dapat terciptanya suatu energi listrik (AC) guna menunjang kebutuhan. Pada proses ini terjadi konversi energi gerak menjadi energi listrik (AC).
 - Setelah generator dapat menghasilkan listrik, kemudian energi dari generator kembali menginput motor listrik dan mencabut sumber utama listrik PLN.
 - Setelah selesai semua baru beban listrik dapat di pasang sesuai dengan keinginan.
 - Setelah proses perakitan dilanjutkan ketahap pengujian yaitu menganalisa kecepatan putaran *flywheel*, menganalisa daya, tegangan dan arus yang bekerja pada motor untuk memutar *flywheel*, menganalisa efektivitas pembangkit listrik tenaga *flywheel* dengan massa *flywheel*
 - Setelah tahap pengujian selesai mencatat semua hasil penelitian dan membuat analisa yang telah terjadi.
 - Penelitian selesai.

2.7 Desain Pembangkit Listrik Tenaga *Flywheel*

Pembuatan desain dengan menggunakan perangkat lunak *SolidWorks 2016*. Desain memungkinkan untuk menempatkan motor listrik, *flywheel*, *pulley* dan generator dengan satu *chassis*. Sebagai besar komponen menggunakan komponen yang sudah ada di pasaran, sehingga mempermudah proses pembuatan. Desain pembangkit listrik tenaga *flywheel* dapat dilihat pada gambar 5 dan gambar 6.



Gambar 5 Gambar Proyeksi Pembangkit Listrik Tenaga *Flywheel*



Gambar 6 Desain Pembangkit Listrik Tenaga *Flywheel*

2.8 Rancangan Analisis Data

Rancangan analisis data adalah pemodelan data yang dibuat dalam arti memperoleh informasi dari hasil penelitian.

1. Data Yang Dihasilkan Motor Listrik

Mengetahui nilai daya yang diperlukan motor listrik bertujuan untuk menganalisa efisiensi dari setiap massa *flywheel* yang berputar dalam kondisi konstan. Hasil dari nilai daya dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6 Daya Motor Listrik

No	Besaran	Tidak terhubung generator			Terhubung generator		
		<i>Flywheel</i> 30 kg	<i>Flywheel</i> 45 kg	<i>Flywheel</i> 60 kg	<i>Flywheel</i> 30 kg	<i>Flywheel</i> 45 kg	<i>Flywheel</i> 60 kg
1	Daya (W)						
2	Tegangan (V)						
3	Arus (I)						

2. Data Yang Dihasilkan Generator

Mengetahui nilai daya generator bertujuan untuk menganalisa efisiensi dari setiap massa *flywheel* yang berputar dalam kondisi konstan. Hasil dari nilai daya generator dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7 Daya Generator

No	Besaran	Tidak terhubung Motor			Terhubung Motor		
		<i>Flywheel</i> 30 kg	<i>Flywheel</i> 45 kg	<i>Flywheel</i> 60 kg	<i>Flywheel</i> 30 kg	<i>Flywheel</i> 45 kg	<i>Flywheel</i> 60 kg
1	Daya (W)						
2	Tegangan (V)						
3	Arus (I)						

3. Pengujian Kecepatan Putaran *Pulley*

Pengujian Kecepatan putaran dilakukan dengan *tachometer*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kecepatan putaran *pulley*, data hasil pengujian kecepatan putaran dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Kecepatan Putaran *Pulley*

No.	Waktu (menit)	Kecepatan Putaran (rpm)
1	Pulley (P1)	
2	Pulley (P2)	
3	Pulley (P3)	
4	Pulley (P4)	
5	Pulley (P5)	
6	Pulley (P6)	

4. Analisa Efektivitas Daya Membangkit Listrik Tenaga *Flywheel*

Untuk menganalisa efektivitas pembangkit listrik tenaga *flywheel* antara motor listrik dengan dan daya yang dihasilkan oleh generator. Hasil analisa dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9 Komparasi Daya Motor Listrik dengan Daya Generator

	Daya Motor Listrik (W)	Daya Generator (W)	Persentasi Efektivitas Pembangkit listrik Tenaga <i>Flywheel</i> (%)
<i>Flywheel</i> massa 30 kg			
<i>Flywheel</i> massa 45 kg			
<i>Flywheel</i> massa 60 kg			

5. Konversi energi *flywheel* sebagai penggerak generator

Dari hasil konversi energi gerak yang dihasilkan dari *flywheel* yang digunakan untuk menggerakkan generator maka didapatkan hasil sebagai berikut:

No	Flywheel yang digunakan	Lama daya generator menggerakkan motor (jam)
1	<i>Flywheel</i> massa 30 kg	
2	<i>Flywheel</i> massa 45 kg	
3	<i>Flywheel</i> massa 60 kg	

6. Analisa Energi Kinetik yang bekerja pada *Flywheel* (Ek)

Untuk menganalisa energi kinetik yang bekerja pada *flywheel* perlu diketahui massa *flywheel* (kg) dan kecepatan sudut *flywheel* (rad/s) dan jari-jari *flywheel* (m). Nilai energi kinetik, massa *flywheel* (kg) dan kecepatan putaran *flywheel* (rpm) dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10 Energi Kinetik pada *Flywheel*

No.	<i>Flywheel</i>	Massa <i>Flywheel</i> (kg)	Gaya Inersia (kg.m ²)	Kecepatan sudut (rad/s)	Jari-jari <i>Flywheel</i> (m)	Energi Kinetik (Joule)
1	<i>Flywheel</i> massa 30 kg					
2	<i>Flywheel</i> massa 45 kg					
3	<i>Flywheel</i> massa 60 kg					

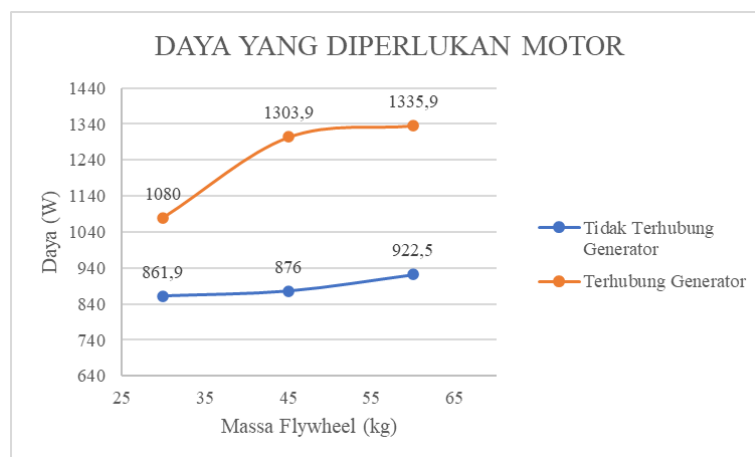
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Daya Yang diperlukan Motor Listrik

Mengetahui nilai daya yang diperlukan motor listrik bertujuan untuk menganalisa efisiensi dari setiap massa *flywheel* yang berputar dalam kondisi konstan. Hasil dari nilai daya dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11 Daya Motor Listrik

No	Besaran	Tidak terhubung generator			Terhubung generator		
		<i>Flywheel</i> 30 kg	<i>Flywheel</i> 45 kg	<i>Flywheel</i> 60 kg	<i>Flywheel</i> 30 kg	<i>Flywheel</i> 45 kg	<i>Flywheel</i> 60 kg
1	Daya (W)	861,9	876	922,5	1080	1303,9	1335,9
2	Tegangan (V)	221	219	225	225	221	219
3	Arus (I)	3,9	4,0	4,1	4,8	5,9	6,1



Gambar 7 Grafik Daya yang diperlukan Motor

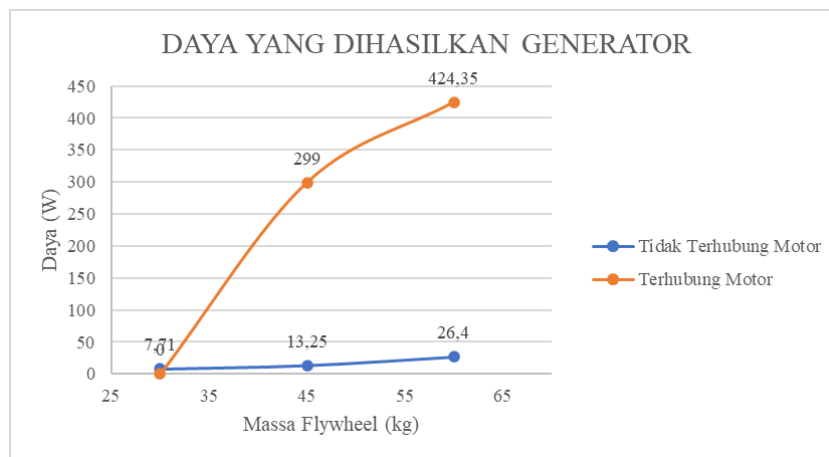
Berdasarkan data di atas terlihat nilai daya yang diperlukan motor listrik tidak terhubung dengan generator menggunakan massa *flywheel* 30 kg, 45 kg, dan 60 kg dari yang terkecil hingga terbesar yaitu 1080 W, 1303,9 W, dan 1335,9 W. Sedangkan dengan kondisi terhubung dengan generator menggunakan massa *flywheel* 30 kg, 45 kg, dan 60 kg dari yang terkecil hingga terbesar 861,9 W, 876 W, dan 922,5 W. Dari data berikut membuktikan bahwa semakin besar massa *flywheel* yang digunakan maka semakin besar pula daya yang diperlukan motor listrik. Dapat disimpulkan bahwa nilai massa *flywheel* berbanding lurus dengan daya yang diperlukan motor listrik. Dapat dilihat dari pembebanan terhubung generator.

32 Daya Yang Dihasilkan Generator

Mengetahui nilai daya generator bertujuan untuk menganalisa efisiensi dari setiap massa *flywheel* yang berputar dalam kondisi konstan. Hasil dari nilai daya generator dapat dilihat pada tabel 12.

Tabel 12 Daya Generator

No	Besaran	Tidak terhubung Motor			Terhubung Motor		
		<i>Flywheel</i> 30 kg	<i>Flywheel</i> 45 kg	<i>Flywheel</i> 60 kg	<i>Flywheel</i> 30 kg	<i>Flywheel</i> 45 kg	<i>Flywheel</i> 60 kg
1	Daya (W)	7,71	13,25	26,4	0	299	424,35
2	Tegangan (V)	257	265	264	0	130	205
3	Arus (I)	0,03	0,05	0,11	0	2,3	2,07



Gambar 8 Grafik Daya yang dihasilkan Generator

Berdasarkan data di atas terlihat nilai daya yang dihasilkan generator tidak terhubung dengan motor menggunakan massa *flywheel* 30 kg, 45 kg, dan 60 kg dari yang terkecil hingga terbesar yaitu 7,71 W, 13,25 W, dan 26,4 W. Sedangkan dengan kondisi terhubung dengan motor menggunakan massa *flywheel* 30 kg, 45 kg, dan 60 kg dari yang terkecil hingga terbesar yaitu 0 W, 299 W, dan 424,35 W. Dari data berikut membuktikan bahwa semakin besar massa *flywheel* yang digunakan maka semakin besar pula daya yang dihasilkan generator. Dapat disimpulkan bahwa nilai massa *flywheel* berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan generator listrik.

33 Pengujian Kecepatan Putaran *Pulley*

Pengujian Kecepatan putaran dilakukan dengan *tachometer*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kecepatan putaran *pulley*, data hasil pengujian kecepatan putaran dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13 Kecepatan Putaran *Pulley*

No.	Pulley	Kecepatan Putaran (rpm)
1	Pulley (P1)	1457,3
2	Pulley (P2)	445,1
3	Pulley (P3)	859,3
4	Pulley (P4)	1891,7
5	Pulley (P5)	445,1
6	Pulley (P6)	859,3

3.3.1 Analisa Efektivitas Daya Pembangkit Listrik Tenaga *Flywheel*

Untuk menganalisa efektivitas pembangkit listrik tenaga *flywheel* antara motor listrik dengan dan daya yang dihasilkan oleh generator. Hasil analisa dapat dilihat pada tabel 14.

Tabel 14 Komparasi Daya Motor Listrik dengan Daya Generator

	Daya Motor Listrik (W)	Daya <i>Generator</i> (W)	Persentasi Efektivitas Pembangkit listrik Tenaga <i>Flywheel</i> (%)
<i>Flywheel</i> massa 30 kg	861,9	0	0
	Daya Motor Listrik (W)	Daya <i>Generator</i> (W)	Persentasi Efektivitas Pembangkit listrik Tenaga <i>Flywheel</i> (%)
<i>Flywheel</i> massa 45 kg	876	299	34,13
<i>Flywheel</i> massa 60 kg	922	424,35	46,02

Berdasarkan data hasil pengujian pembangkit listrik tenaga *flywheel* didapatkan data dengan nilai efektivitas *flywheel* yang digunakan dari yang terendah pada *flywheel* 30 kg dengan presentasi efektivitas sebesar 0 % dari daya yang digunakan untuk menggerakkan motor listrik. Kemudian efektivitas tertinggi didapatkan pada *flywheel* 60 kg dengan nilai efektivitas sebesar 46,02%.

3.4 Konversi energi *Flywheel* sebagai penggerak generator

Dari hasil konversi energi gerak yang dihasilkan dari *flywheel* yang digunakan untuk menggerakkan generator maka didapatkan hasil sebagai berikut :

No	Flywheel yang digunakan	Lama daya generator menggerakkan motor (jam)
1	Flywheel	-

	massa 30 kg	
2	Flywheel massa 45 kg	1
3	Flywheel massa 60 kg	12

Berdasarkan data dari tabel di atas daya yang dihasilkan dari generator menggunakan *flywheel* 30 kg tidak dapat menggerakkan motor listrik kembali. Kemudian untuk *flywheel* 45 kg mampu menggerakkan motor listrik selama 1 jam, dan untuk *flywheel* 60 kg dapat menggerakkan motor listrik selama 12 jam dalam kondisi tanpa beban.

3.5 Analisa Energi Kinetik yang bekerja pada *Flywheel* (Ek)

Untuk menganalisa energi kinetik yang bekerja pada *flywheel* perlu diketahui massa *flywheel* (kg) dan kecepatan sudut *flywheel* (rad/s) dan jari-jari *flywheel* (m). Nilai energi kinetik, massa *flywheel* (kg) dan kecepatan putaran *flywheel* (rpm) dapat dilihat pada tabel 4.5.

Kecepatan sudut (rad/s)

Diketahui jari-jari dan massa *flywheel* yang digunakan:

$$r_1 = 0,16 \text{ m}$$

$$r_1 = 0,215 \text{ m}$$

$$r_3 = 0,215 \text{ m}$$

$$m_1 = 30 \text{ kg}$$

$$m_2 = 45 \text{ kg}$$

$$m_3 = 60 \text{ kg}$$

$$v_1 = 445,2 \text{ rpm}$$

$$v_2 = 445,2 \text{ rpm}$$

$$v_3 = 859,3 \text{ rpm}$$

Kecepatan sudut *flywheel* dihitung dengan persamaan 2.10 (Fauzin et al., 2014)

$$\begin{aligned}
 \omega_1 &= \frac{v_1}{60} \\
 &= \frac{v_1}{60} \\
 &= \frac{445,2 \text{ rpm}}{60} \\
 &= 7,42 \text{ rad/s} \\
 \omega_2 &= \frac{v_2}{60} \\
 &= \frac{v_2}{60}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{445,2 \text{ rpm}}{60} \\
&= 7,42 \text{ rad/s} \\
\omega_3 &= \frac{v_3}{60} \\
&= \frac{v_3}{60} \\
&= \frac{859,3 \text{ rpm}}{60} \\
&= 14,32 \text{ rad/s}
\end{aligned}$$

Gaya Inersia *flywheel* dihitung dengan persamaan 2.9 (Fauzin et al., 2014)

$$\begin{aligned}
I_1 &= m_1 \times r_1^2 \\
&= 30 \times 0,16^2 \\
&= 0,768 \text{ kgm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_2 &= m_2 \times r_2^2 \\
&= 45 \times 0,215^2 \\
&= 2,08 \text{ kgm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_3 &= m_3 \times r_3^2 \\
&= 60 \times 0,215^2 \\
&= 2,774 \text{ kgm}^2
\end{aligned}$$

Energi kinetik *flywheel* dihitung dengan persamaan 2.8 (Fauzin et al., 2014)

$$\begin{aligned}
Ek_1 &= 0,5 \times I_1 \times \omega_1^2 \\
&= 0,5 \times 0,768 \times 7,42^2 \\
&= 21,14 \text{ Joule}
\end{aligned}$$

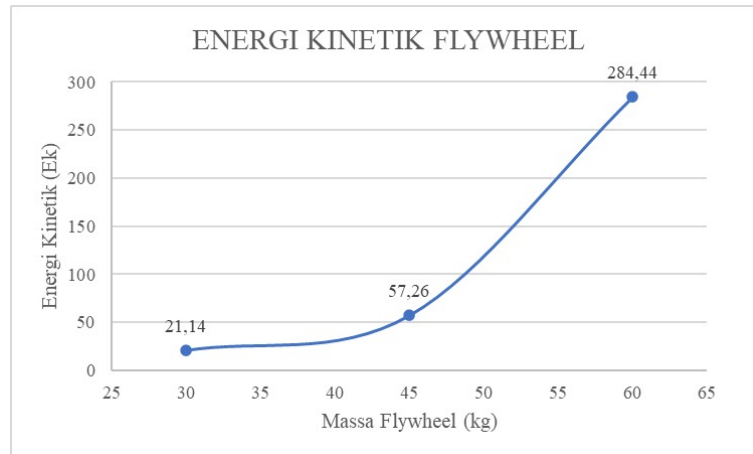
$$\begin{aligned}
Ek_2 &= 0,5 \times I_2 \times \omega_2^2 \\
&= 0,5 \times 2,08 \times 10,87^2 \\
&= 57,26 \text{ Joule}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Ek_3 &= 0,5 \times I_3 \times \omega_3^2 \\
&= 0,5 \times 2,774 \times 14,32^2 \\
&= 284,44 \text{ Joule}
\end{aligned}$$

Tabel 15 Energi Kinetik pada *Flywheel*

No.	<i>Flywheel</i>	Massa <i>Flywheel</i> (kg)	Gaya Inersia (kg.m ²)	Kecepatan sudut (rad/s)	Jari-jari <i>Flywheel</i> (m)	Energi Kinetik (Joule)
1	<i>Flywheel</i> massa 30 kg	30	0,768	7,42	0,16	21,14
2	<i>Flywheel</i>	45	2,080	7,42	0,215	57,26

massa 45 kg						
3	<i>Flywheel</i> massa 60 kg	60	2,774	14,32	0,215	284,44



Gambar 9 Energi Kinetik *Flywheel*

Energi kinetik yang bekerja pada *flywheel* dengan massa 30 kg, 45 kg, dan 60 kg berturut-turut yaitu sebesar 21,14 Joule, 57,26 Joule, dan 284.44 Joule. Nilai energi kinetik terendah pada massa *flywheel* 30 kg dan energi kinetik tertinggi bekerja pada massa *flywheel* 60 kg. Hal tersebut dapat diartikan bahwa semakin besar massa *flywheel* maka semakin besar pula energi kinetik yang bekerja pada *flywheel*. Maka massa *flywheel* berbanding lurus dengan energi kinetik yang bekerja pada *flywheel*.

4. PENUTUP

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, analisis hasil penelitian maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai massa *flywheel* berbanding lurus dengan daya yang diperlukan motor listrik.
2. Nilai massa *flywheel* berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan generator listrik.
3. Setiap *pulley* dengan rasio berbeda maka kecepatan putaran yang dihasilkan akan berbeda pula.
4. Nilai efektivitas daya terendah pada *flywheel* 30 kg dengan presentasi efektivitas sebesar 0%. Kemudian efektivitas tertinggi didapatkan pada *flywheel* 60 kg dengan nilai efektivitas sebesar 46,02%.
5. Daya yang dihasilkan dari generator *flywheel* 30 kg tidak dapat menggerakkan motor listrik kembali. Untuk *flywheel* 45 kg mampu menggerakkan motor listrik selama 1 jam, dan

untuk *flywheel* 60 kg dapat menggerakkan motor listrik selama 12 jam dalam kondisi tanpa beban.

6. Energi kinetik yang bekerja pada *flywheel* dengan massa 30 kg, 45 kg, dan 60 kg berturut-turut yaitu sebesar 21,14 Joule, 57,26 Joule, dan 284,44 Joule. Nilai energi kinetik terendah pada massa *flywheel* 30 kg dan energi kinetik tertinggi bekerja pada massa *flywheel* 60 kg.

4.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka penulis berharap agar peneliti selanjutnya dapat:

1. Meningkatkan jumlah variasi massa *flywheel* sehingga mendapatkan hasil yang lebih akurat.
2. Menggunakan beban berupa alat kelistrikan lain seperti lampu, *speaker*, setrika dan lain sebagainya sebagai komparasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariffaiuddin, Samsul dan Budijono. 2018. "Rancang Bangun Prototype Alat Untuk Meningkatkan Energi Listrik Alternatif Menggunakan Flywheel Generator". Universitas Negeri Surabaya
- Aqajade, G. 2015. Rancang Bangun Prototype Pembangkit Listrik Menggunakan Tenaga Kayuh Untuk Catu Daya Dan Pengisian Accumulator. Sarjana thesis, Universitas Negeri Jakarta.
- Fauzin et al., 2014. Analisis Penyerapan Energi Kinetik pada Berbagai Variasi Kecepatan dan Inersia Flywheel. Jurnal Rekayasa Mesin Vol.5
- Hariato, Koko dan Abdurahman. 2019. " Perancangan Pembangkit Listrik Alternatif dengan Memanfaatkan Putaran Flywheel" Universitas Muhammadiyah Makassar. Makassar
- Jaya, Aksan Muh at al., 2022. "Perencanaan Pembangkit Listrik Berbasis Flywheel Ganda". Universitas Muslim Indonesia. Makassar
- Kim. J.Seong, et al. 2014. "Design And Fabrication Of Hybrid Composite Hubs For A Multi-Rim Flywheel Energy Storage System". Composite Structures. 107 : 19 – 29.
- Putra, Rizky Satrio. 2014. "Analisa Cover Sub Assy Battery untuk Kendaraan Bermotor Roda Empat". Universitas Mercu Buana. Jakarta
- Razali dan Stephan. 2016. "Rancangbangun Mesin Pembangkit Listrik tanpa bbm berkapasitas 3000 watt dengan Memanfaatkan Putaran *Flywheel*". Politeknik Negeri Bengkalis Riau. Riau
- Ruslim et al., 2021. "Perancangan Pembangkit Listrik Alternatif Dengan Memanfaatkan Flywheel Sebagai Penyimpan Energi Berdaya 1000 Watt". Politeknik Ujung Pandan. Ujung Pandan
- Saptono, H D, 2010. Analisis Kebutuhan Energi Kalor pada Industri Tahu. Universitas Muhammadiyah Surakarta, Skripsi., 2009, Efisiensi dengan Audit Energi.
- Sutrisno, 1984. "Fisika dasar 2 Mekanika", Bandung: ITB Bandung
- Keith Pullen. 2019. "The Status and Future of Flywheel Energy Storage". Imperial College London.

Bjorn Bolund et al. (2005). "Flywheel Energy and Power Storage Systems". Department of Engineering Sciences Uppsala University, The Ångström Laboratory, Box 534, S-75121, Uppsala, Sweden.