

Analisis Pengaruh Susunan Poros Terhadap Kinerja *Flywheel* Generator

Marselinus Aryanto Gensi^{1*}, Jahirwan Ut Jasron², Arifin Sanusi³, Boy Bistolen⁴, Daud P. Mangesa⁵

¹⁻⁵Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana
Jl. Adisucipto Penfui, Kupang, Nusa Tenggara Timur, Telp. (0380) 881597

*Corresponding author: ninongg7@gmail.com

ABSTRAK

Flywheel atau roda gila adalah salah satu komponen mesin yang berfungsi untuk menyimpan energi dalam bentuk energi kinetik dari gerakan rotasi poros engkol. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi susunan poros terhadap kinerja *flywheel* generator sehingga dapat digunakan sebagai bahan acuan pengembangan sistem penyimpanan energi mekanik berbasis *flywheel* yang lebih stabil. Pengujian dilakukan pada tiga susunan poros, yaitu tanpa *flywheel*, satu poros *flywheel* 30 kg, dan dua poros *flywheel* 12,5 kg dan 12,5 kg. Hasil penelitian dan analisis, dapat disimpulkan bahwa susunan poros *flywheel* memengaruhi kestabilan arus, tegangan, dan kecepatan putar. Tanpa *flywheel*, output generator sangat tidak stabil. Susunan satu poros *flywheel* massa 25 kg menunjukkan perbaikan kestabilan, meskipun penurunan masih terjadi saat beban aktif. Susunan dua poros *flywheel* masing-masing massa 12,5 kg memberikan kestabilan lebih baik dibandingkan susunan satu poros karena energi kinetik total yang lebih besar pada poros A yaitu 856,91 Joule dan poros B yaitu 4.309,94 Joule. Dengan demikian, susunan dua poros *flywheel* 12,5 kg dan 12,5 kg adalah yang paling efektif untuk menjaga kestabilan output generator.

ABSTRACT

Flywheel is one of the engine components that functions to store energy in the form of kinetic energy from the rotational movement of the crankshaft. This study aims to analyze the effect of variations in the shaft arrangement on the performance of the *flywheel* generator so that it can be used as a reference material for developing a more stable *flywheel*-based mechanical energy storage system. Tests were conducted on three shaft arrangements, namely without a *flywheel*, one *flywheel* shaft of 30 kg, and two *flywheel* shafts of 12.5 kg and 12.5 kg. The results of the research and analysis, it can be concluded that the *flywheel* shaft arrangement affects the stability of current, voltage, and rotational speed. Without a *flywheel*, the generator output is very unstable. The arrangement of one *flywheel* shaft with a mass of 25 kg shows improved stability, although a decrease still occurs when the load is active. The arrangement of two *flywheel* shafts each with a mass of 12.5 kg provides better stability than the arrangement of one shaft because the total kinetic energy is greater on shaft A, namely 856.91 Joules and shaft B, namely 4,309.94 Joules. Thus, the arrangement of two *flywheel* shafts of 12.5 kg and 12.5 kg is the most effective for maintaining the stability of the generator output.

Keywords: *Flywheel Generator, Shaft Arrangement, Current Stability, Voltage Stability, and Rotational Speed Stability.*

1. PENDAHULUAN

Energi listrik memegang peran yang sangat penting dalam kehidupan manusia, khususnya di era modern ini. Hampir seluruh aktivitas sehari-hari sangat bergantung pada listrik, sehingga tanpa pasokan yang memadai, berbagai pekerjaan dan pemenuhan kebutuhan tidak dapat berjalan dengan optimal. Ketergantungan ini terlihat dari berbagai sektor, mulai dari penerangan, komunikasi, hingga operasional industri yang sangat memerlukan aliran listrik yang stabil dan berkelanjutan [1].

Mengingat peran vital listrik dalam kehidupan sehari-hari, ketersediaan pasokan energi listrik menjadi perhatian utama karena sumber energi yang tersedia semakin menipis. Saat ini, produksi

listrik belum mampu mengejar pertumbuhan permintaan yang terus meningkat, terutama dari sektor rumah tangga. Sektor ini merupakan salah satu kontributor utama, dengan porsi konsumsi mencapai sekitar 23% dari total penggunaan energi di tingkat nasional.

Salah satu inovasi yang sedang dikembangkan adalah sistem yang mampu meningkatkan kapasitas penyediaan tenaga listrik. Sistem ini menggunakan motor listrik yang dikombinasikan dengan roda gila (*flywheel*) untuk menghasilkan energi melalui sebuah generator [2].

Flywheel atau yang dikenal sebagai roda gila adalah komponen mesin yang berfungsi menyimpan energi dalam bentuk energi kinetik yang berasal dari rotasi poros engkol. Fungsi utama dari *flywheel* ialah untuk meredam perubahan kecepatan rotasi dengan memanfaatkan sifat inersia. Energi kinetik yang tersimpan di dalam *flywheel* dipengaruhi oleh torsi yang bekerja pada sistem tersebut [3].

Sistem pembangkit ini menggunakan motor induksi satu fasa yang terhubung langsung dengan *flywheel*, serta generator AC satu fasa yang digerakkan oleh putaran *flywheel*. Prinsip kerjanya didasarkan pada konversi energi mekanik yang tersimpan dalam *flywheel* menjadi energi listrik melalui generator. Selama motor induksi satu fasa mendapatkan suplai listrik yang stabil, energi kinetik yang tersimpan di *flywheel* dapat dialirkan secara optimal ke generator untuk menghasilkan listrik.

Oleh karena itu, sehingga perlu dilakukan penelitian tentang "Analisis Pengaruh Susunan Poros Terhadap Kinerja *Flywheel* Generator".

2. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian sebelumnya "Analisis Hubungan Penyimpanan Massa dan Energi Menggunakan Variasi Massa *Flywheel* 30 Kg, 45 Kg dan 60 Kg", menunjukkan bahwa peningkatan massa *flywheel* sebanding dengan kenaikan daya yang dihasilkan oleh generator. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa massa *flywheel* memiliki hubungan linier terhadap besarnya daya listrik yang dihasilkan. [1].

Penelitian yang dilakukan sebelumnya "Rancang Bangun Prototype Alat Untuk Meningkatkan Energi Listrik Alternatif Menggunakan *Flywheel Generator*" dengan metode dalam rekayasa ini adalah rekayasa uji coba dengan analisis deskriptif kualitatif. Hasil menunjukkan bahwa rekayasa ini dapat meningkatkan energi listrik alternatif Menggunakan *Flywheel Generator* dengan massa 80 Kg Rpm 2200 menggunakan penggerak 1Hp, mampu meningkatkan energi listrik PLN 1100 menjadi 1760 watt [4].

Penelitian sebelumnya "Perencanaan Pembangkit Listrik Berbasis *Flywheel* ganda", yang bertujuan untuk menghitung perencanaan pembangkit listrik berbasis *flywheel*. Menunjukkan bahwa hasil perhitungan rancangan pembangkit listrik berbasis *flywheel* didapatkan *flywheel* dengan hasil yaitu 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 [2].

Penelitian sebelumnya tentang "Rancang Bangun Mesin Pembangkit Listrik Tanpa BBM Berkapasitas 3000 Watt Dengan Memanfaatkan Putaran *Flywheel*" dengan tujuan adalah Study mempelajari kinerja suatu *flywheel* energi storage sehingga bisa diaplikasikan pada suatu pembangkit listrik. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa alat ini memiliki daya listrik yang 2 kali lipat lebih besar dari input nya [3].

2.1 *Flywheel* (Roda Gila)

Flywheel atau roda gila merupakan alat penyimpanan energi yang bekerja dengan prinsip rotasi, di mana energi yang disimpan berupa energi kinetik dari gerakan berputar porosnya [5].

2.2 Momen Inersia

Momen inersia merupakan ukuran sejauh mana sebuah benda menolak perubahan dalam gerak rotasi [3].

$$I = \frac{1}{2} mr^2 \quad (1)$$

Dimana:

I = momen Inersia (kg.m²)

m = massa partikel (kg)

r = jarak partikel dari sumbu putar (m)

2.3 Kecepatan Sudut

Kecepatan sudut (ω) menunjukkan seberapa cepat suatu benda berputar terhadap sumbu rotasinya [6].

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (2)$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60 \text{ s}} \quad (3)$$

Dimana:

ω = kecepatan sudut (rad/s)

$\Delta\theta$ = perubahan sudut (rad)

Δt = selang waktu (s)

n = putaran per menit (Rpm)

$2\pi \text{ rad}$ = satu putaran penuh = 360°

2.4 Percepatan Sudut

Percepatan sudut (α) merupakan laju perubahan kecepatan sudut terhadap waktu [7].

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} \quad (4)$$

Dimana:

α = percepatan sudut (rad/s²)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

t = selang waktu perubahan (s)

2.5 Torsi

Torsi adalah momen putar atau besarnya gaya yang dibutuhkan untuk melakukan percepatan rotasi [7].

$$\tau = I a \quad (5)$$

Dimana:

τ = torsi (N.m)

I = momen inersia (kg.m²)

a = percepatan sudut (rad/s²)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung torsi pada motor listrik yaitu [8].

$$\tau = \frac{P_{out}}{\omega_m} \quad (6)$$

Dimana:

τ = torsi (N.m)

P_{out} = daya keluaran (Watt)

ω_m = kecepatan motor (rad/s)

2.6 Energi Kinetik Rotasi

Energi kinetik rotasi adalah besarnya energi yang tersimpan dalam suatu benda saat melakukan gerak rotasi [6].

$$Ek = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (7)$$

Dimana:

Ek = energi kinetik rotasi (joule)

I = momen inersia (kg.m^2)

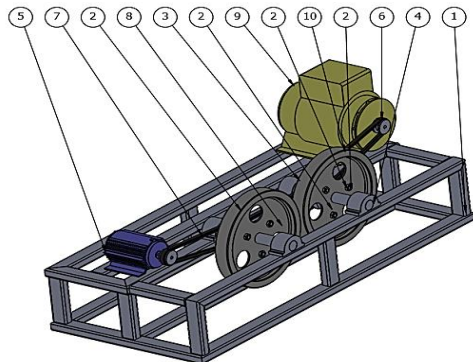
ω = kecepatan sudut (rad/s)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin *flywheel* generator. Spesifikasi alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu motor induksi power : 1 HP/745 Watt dan generator Tipe: ST-3, daya: 3 kW dan putaran poros: 1500 r/min.

Pada penelitian ini, dilakukan pengambilan data mencakup arus (Amper), Tegangan (Volt) dan kecepatan putar poros *flywheel* (Rpm). Prosedur pengujian mesin pembangkit listrik dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut

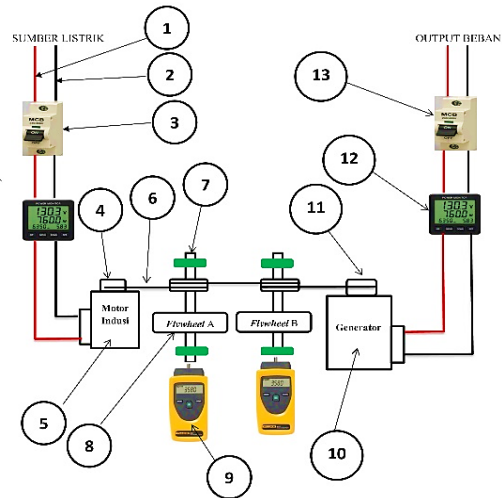
1. Nyalakan mesin *flywheel* generator dengan menyambung kabel dari sumber listrik PLN ke motor induksi sampai kecepatan maksimal.
2. Menyiapkan beban untuk *output* generator berupa gurinda duduk berdaya 1.100 watt, gurinda tangan berdaya 300 Watt, dan motor induksi berdaya 180 Watt.
3. Menyiapkan alat ukur tachometer untuk mengukur kecepatan putar (Rpm) pada poros *flywheel* A dan poros *flywheel* B.
4. Menyiapkan alat ukur *Power Monitor Digital* untuk mengukur tegangan (V) dan arus (A) pada sisi *input* motor induksi dan *output* generator.
5. Melakukan pengujian dan ulangi pada setiap variasi susunan poros *flywheel*.



Gambar 1. Desain alat pembangkit listrik *flywheel* generator

Keterangan:

1. Rangka
2. *Flywheel* dan *pulley*
3. Bantalan poros
4. As poros
5. Motor induksi
6. *Pulley*
7. *V-belt* 1
8. *V-belt* 2
9. Generator
10. *V-belt* 3



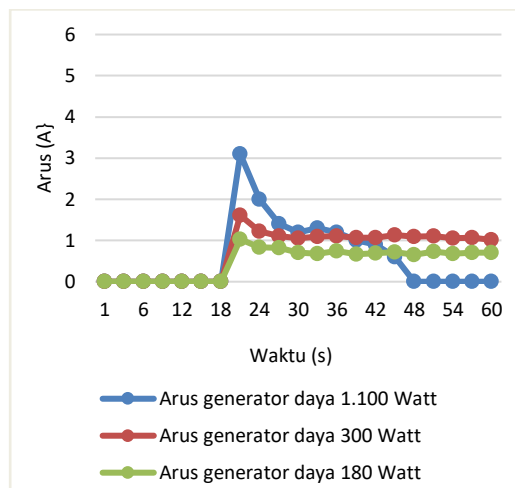
Gambar 2. Skema alat pembangkit listrik *flywheel* generator

Keterangan skema gambar

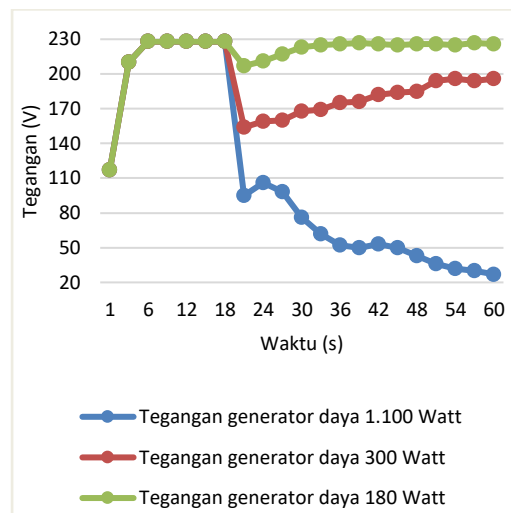
1. Kabel *phase*
2. Kabel *negaif*
3. *MCB Input*
4. *Pulley* motor
5. Motor induksi
6. *V-Belt*
7. Poros
8. *Flywheel*
9. Tachometer
10. Generator
11. *Pulley* generator
12. *Power monitor*
13. *MCB output*

4. HASIL

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh data dengan variasi susunan poros *flywheel* yaitu: (1) susunan tanpa poros *flywheel*, (2) susunan satu poros *flywheel* massa 30 kg, (3) susunan dua poros *flywheel* massa 12,5 kg dan 12,5 kg. Rincian hasil pengujian dari setiap kondisi dijelaskan pada bagian berikut.



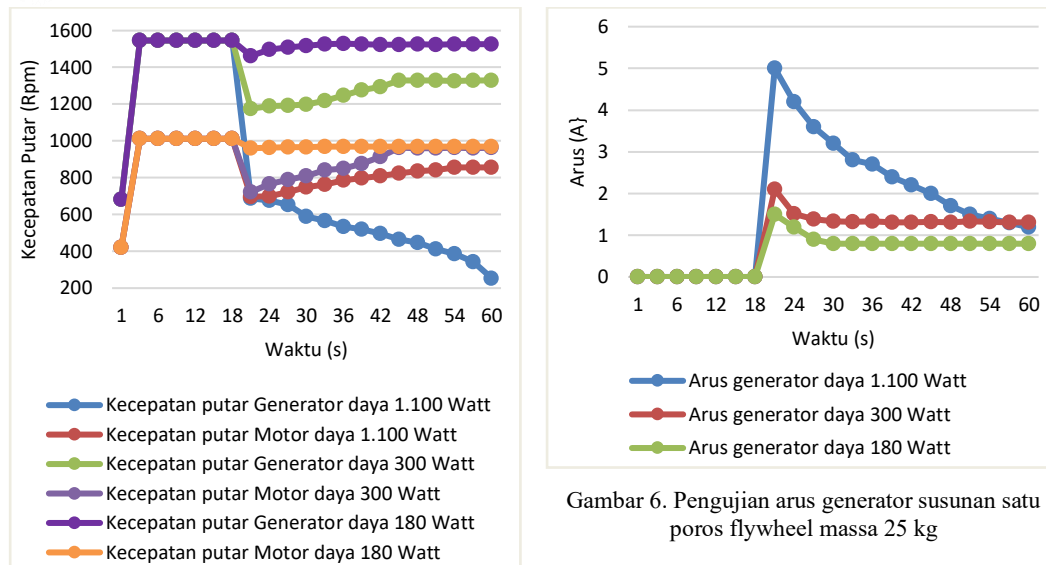
Gambar 3. Pengujian arus generator susunan tanpa flywheel



Gambar 4. Pengujian tegangan generator susunan tanpa flywheel

Gambar 3 menunjukkan hubungan Arus generator terhadap waktu dengan daya 1.100 Watt, 300 Watt dan 180 Watt. Berdasarkan gambar pengujian daya 1.100 Watt menunjukkan arus awalnya 0 A (beban *off* pada detik 1–18), kemudian arus naik 3,1 A (detik ke 21 beban dikerjakan), dan turun sampai 0 A. Pada daya 300 Watt arus naik hingga 1,61 A, kemudian turun secara tidak stabil sampai di 1,01 A. Sedangkan pada daya 180 Watt arus naik hingga 1,03 A, kemudian amper turun sampai di 0,70 A.

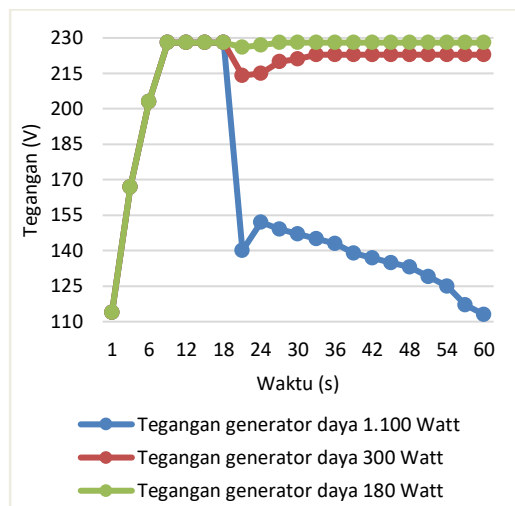
Gambar 4 menunjukkan hubungan Tegangan generator terhadap waktu pada susunan tanpa *flywheel* dengan daya 1.100 Watt, 300 Watt dan 180 Watt. Berdasarkan gambar pengujian daya 1.100 Watt menunjukkan bahwa tegangan awalnya 228 V (beban *off*). Setelah detik ke-21, beban bekerja dan tegangan turun 95 V, kemudian tegangan turun di 27 V. Pada daya 300 Watt tegangan turun 154 V, kemudian tegangan naik di 196 V. Pada daya 180 Watt tegangan turun 207 V, kemudian tegangan naik 226 V.



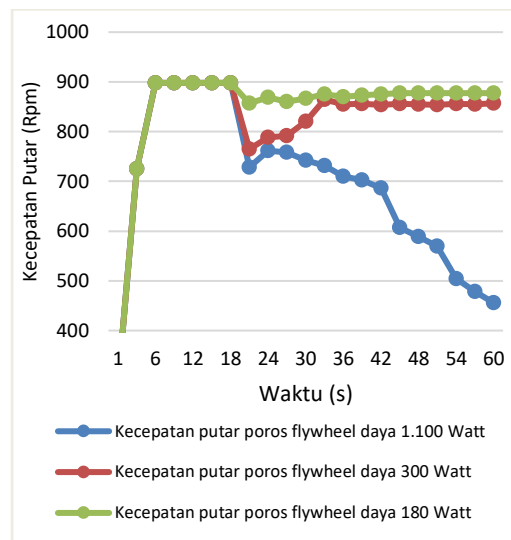
Gambar 5. Pengujian kecepatan putar motor induksi dan generator susunan tanpa flywheel

Berdasarkan gambar 5 menunjukkan bahwa kecepatan putar pada motor induksi dan generator meningkat secara bertahap hingga mencapai kecepatan 1.012 Rpm dan 1.546 Rpm (kecepatan *max* pada detik 3-18). Pada daya 120 Watt, kecepatan putar generator mencapai 1463-1526 Rpm, sedangkan pada sisi motor induksi 961-969 Rpm. Begitu pula pada daya 300 Watt, kecepatan putar generator di 1.174-1328 Rpm, sementara pada sisi motor induksi yaitu 723-963 Rpm. Pada daya 1100 Watt, kecepatan putar generator menurun dari 689-254 Rpm, sedangkan pada sisi motor induksi dari 698-857 Rpm.

Gambar 6 menunjukkan hubungan Arus generator terhadap waktu dengan daya 1.100 Watt, 300 Watt dan 180 Watt. Berdasarkan gambar pengujian menunjukkan bahwa arus 0 A (beban *off* pada detik 1-18). Pada pengujian dengan daya 1.100 Watt arus naik 5,0 A (detik ke-21 beban dikerjakan) kemudian turun di 1,2 Amper. Pada pengujian dengan daya 300 Watt arus naik 2,10 A kemudian amper turun perlahan seiring dengan waktu di 1,31 Amper. Pada pengujian dengan 180 Watt dengan massa 30 kg arus naik 1,50 A kemudian turun di 0,80 Amper.



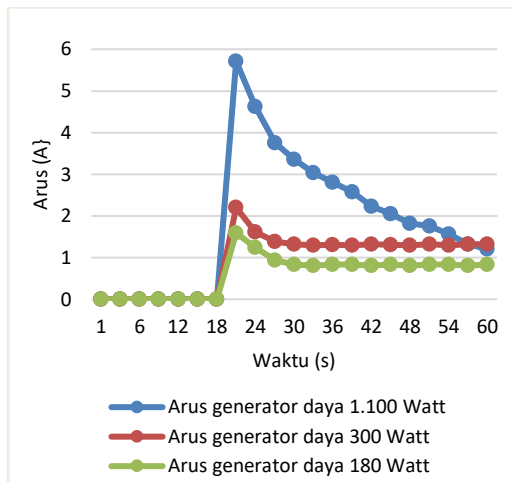
Gambar 7. Pengujian tegangan generator susunan satu poros flywheel massa 25 kg



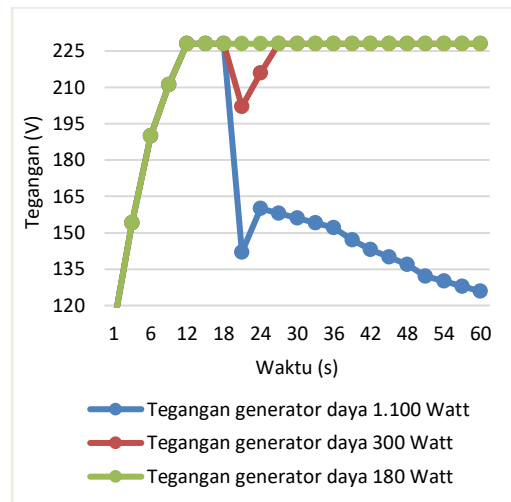
Gambar 8. Pengujian kecepatan putar satu poros flywheel massa 25 kg

Gambar 7 menunjukkan hubungan tegangan generator terhadap waktu pada susunan satu poros *flywheel* dengan daya 1.100 Watt, 300 Watt dan 180 Watt. Berdasarkan gambar pengujian dengan daya 1.100 Watt menunjukkan bahwa tegangan awalnya 228 V (beban *off*). Setelah detik ke-21, beban bekerja dan tegangan turun di 140 V, kemudian tidak stabil di 113 V. Pada pengujian dengan daya 300 Watt tegangan turun di 214 V, kemudian naik sampai di 223 V. Pada pengujian dengan daya 180 Watt tegangan turun di 226 dan kembali stabil di 228 V sampai akhir pengujian.

Berdasarkan gambar 8 hasil pengujian menunjukkan bahwa kecepatan putar pada poros *flywheel* meningkat secara bertahap sejak awal pengujian hingga mencapai kecepatan 898 Rpm (kecepatan maksimum pada detik 6 sampai 18). Pada daya 120 Watt, kecepatan tertinggi mencapai 857 sampai 877 Rpm. Pada beban ini kecepatan putar lebih tinggi karena beban kerja yang kecil. Begitu pula pada daya 300 Watt, kecepatan putar poros flywheel di 765 sampai 857 Rpm. Sedangkan, pada daya 1100 Watt, kecepatan putar poros mengalami penurunan yang cukup tinggi seiring bertambahnya waktu. Putaran poros flywheel menurun dari 728 hingga 456 Rpm sampai akhir pengujian.



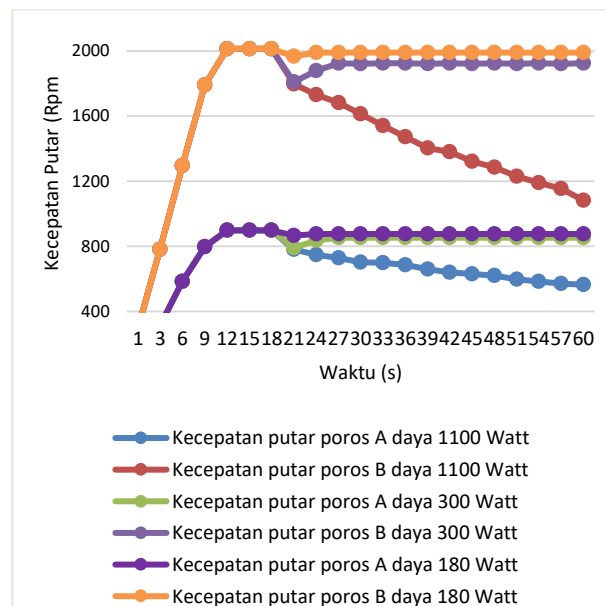
Gambar 9. Pengujian Arus generator susunan dua poros flywheel massa 12,5 kg dan 12,5 kg



Gambar 10. Pengujian tegangan generator susunan dua poros flywheel massa 12,5 kg dan 12,5 kg

Gambar 9 menunjukkan hubungan Arus generator terhadap waktu dengan daya 1.100 Watt, 300 Watt dan 180 Watt. Berdasarkan gambar pengujian dengan daya 1.100 Watt menunjukkan bahwa arus awalnya 0 A (beban *off* pada detik 1–18). Ketika beban dikerjakan arus naik 5,71 A (detik ke-21), kemudian turun di 1,27 A. Pada daya 300 Watt arus naik 2,2 A, kemudian turun di 1,32 A, dan pada daya 180 Watt arus naik 1,59 A, kemudian turun di 0,83 A.

Gambar 10 menunjukkan hubungan tegangan generator terhadap waktu dengan daya 1.100 Watt, 300 Watt dan 180 Watt. Berdasarkan gambar pengujian daya 1.100 Watt menunjukkan bahwa tegangan awalnya 228 V (beban *off*). Setelah detik ke-21, beban bekerja dan tegangan turun di 142 V, lalu tegangan tidak kembali stabil di 126 V. Pada pengujian dengan daya 300 Watt tegangan turun di 202 V, lalu tegangan naik di 228 V, dan pada daya 180 Watt tegangan tetap stabil di 228 V sampai akhir pengujian.



Gambar 11. Kecepatan putar dua poros flywheel massa 12,5 kg dan 12,5 kg

Gambar 11 menunjukkan bahwa kecepatan putar pada poros A dan poros B meningkat hingga mencapai kecepatan 898 Rpm dan 2014 Rpm (kecepatan *max* detik 12-18). Pada daya 120 Watt, poros B mencapai kecepatan 1967-1992 Rpm, dan poros A 865-877 Rpm. Pada daya 300 Watt, poros B mempertahankan kecepatan di 1809-1924 Rpm, dan poros A yaitu 792- 854 Rpm. Pada daya 1.100 Watt, kecepatan putar kedua poros mengalami penurunan yang cukup tinggi. Poros A menurun dari 782-564 Rpm sampai akhir pengujian, dan poros B dari 1798-1084 Rpm.

4.1 Perhitungan Momen Inersia

Diketahui :

$$m = 25 \text{ kg}, d = 35 \text{ cm}, \text{ dan } r = 17,5 \text{ cm} = 0,175 \text{ m}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{2} 25 \text{ kg} \times (0,175 \text{ m})^2 \\ &= 12,5 \text{ kg} \times 0,031 \text{ m}^2 \\ &= 0,388 \text{ kg.m}^2 \end{aligned}$$

Tabel 1. Hasil perhitungan momen inersia setiap susunan poros *flywheel*

Susunan	$I \text{ (kg.m}^2\text{)}$
Tanpa <i>flywheel</i>	-
1 Poros <i>flywheel</i>	0,388
2 Poros <i>flywheel</i> A	0,194
2 Poros <i>flywheel</i> B	0,194

4.2 Perhitungan Kecepatan Sudut

Diketahui :

$$N_{awl} = 1.012 \text{ Rpm}$$

Sehingga

$$\begin{aligned}
 \omega_{awl} &= \frac{2 \times 3,14 \times 1.012 \text{ Rpm}}{60 \text{ s}} \\
 &= \frac{6,28 \text{ rad} \times 1.012 \text{ Rpm}}{60 \text{ s}} \\
 &= \frac{6.355,36}{60} \\
 \omega_{awl} &= 105,92 \text{ rad/s}
 \end{aligned}$$

Tabel 2. Hasil perhitungan kecepatan sudut setiap susunan poros *flywheel*

Susunan	Kondisi	ω (rad/s)
Tanpa <i>flywheel</i>	Awal	105,92
	Beban	73,06
1 Poros <i>flywheel</i>	Awal	93,99
	Beban	76,19
2 Poros <i>flywheel</i> A	Awal	93,99
	Beban	81,85
2 Poros <i>flywheel</i> B	Awal	210,79
	Beban	187,99

4.3 Perhitungan Percepatan Sudut

Diketahui :

$$\omega_1 = 105,923 \text{ rad/s}, \omega_2 = 73,057 \text{ rad/s}, t_1 = 0 \text{ detik}, \text{ dan } t_2 = 3 \text{ detik}$$

Sehingga

$$\begin{aligned}
 \alpha_{bbn} &= \frac{73,057 \text{ rad/s} - 105,923 \text{ rad/s}}{3 \text{ second} - 0 \text{ second}} \\
 &= \frac{-32,866 \text{ rad/s}}{3 \text{ s}} \\
 \alpha_{bbn} &= -10,96 \text{ rad/s}^2
 \end{aligned}$$

Tabel 3. Hasil perhitungan percepatan sudut setiap susunan poros *flywheel*

Susunan	Kondisi	α (rad/s ²)
Tanpa <i>flywheel</i>	Awal	-
	Beban	-10,08
1 Poros <i>flywheel</i>	Awal	-
	Beban	-5,93
2 Poros <i>flywheel</i> A	Awal	-
	Beban	-4,05
2 Poros <i>flywheel</i> B	Awal	-
	Beban	-7,60

4.4 Perhitungan Torsi

- Menghitung torsi pada motor induksi

$$\tau_{awl} = \frac{1.814 \text{ Watt}}{105,923 \text{ rad/s}}$$

$$= 17,13 \text{ N.m}$$

- Menghitung torsi pada *flywheel*

Diketahui:

$$I = 0,388 \text{ kg/m}^2 \text{ dan } \alpha_{awl} = -5,93 \text{ rad/s}^2$$

Sehingga

$$\tau_{awl} = 0,388 \text{ kg/m}^2 \times (-5,93 \text{ rad/s}^2)$$

$$= -2,301 \text{ N.m}$$

Tabel 4. Hasil perhitungan torsi setiap susunan poros *flywheel*

Susunan	Kondisi	τ (N.m)
Tanpa <i>flywheel</i>	Awal	17,13
	Beban	33,51
1 Poros <i>flywheel</i>	Awal	-
	Beban	-2,301
2 Poros <i>flywheel</i> A	Awal	-
	Beban	-0,786
2 Poros <i>flywheel</i> B	Awal	-
	Beban	-1.474

4.5 Perhitungan Energi Kinetik

Diketahui:

$$I = 0,388 \text{ kg/m}^2 \text{ dan } \omega_{awl} = 93,99 \text{ rad/s}$$

Sehingga

$$Ek = \frac{1}{2} \times 0,388 \times (93,99)^2$$

$$= 0,194 \text{ kg/m}^2 \times 8.834,12 \text{ rad/s}$$

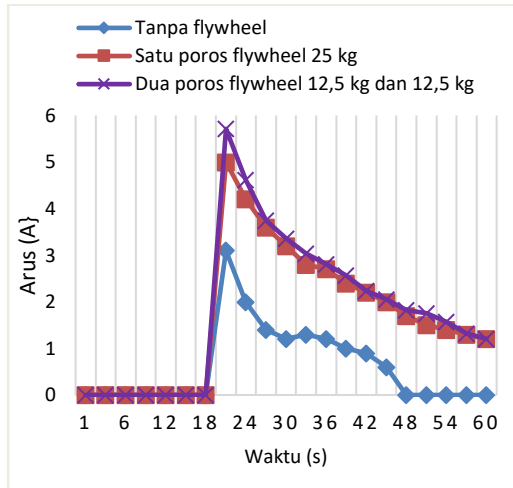
$$= 1.713,82 \text{ Joule}$$

Tabel 5. Hasil perhitungan energi kinetik setiap susunan poros *flywheel*

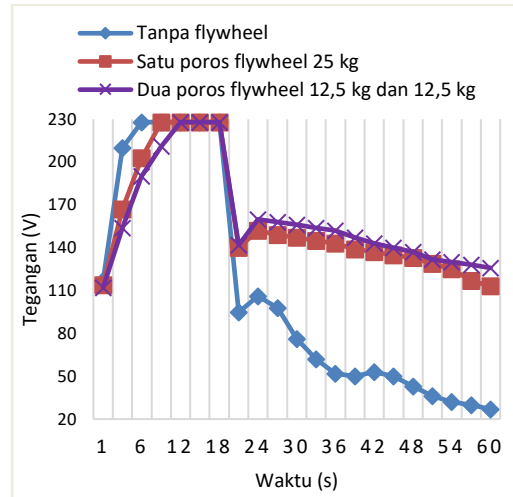
Susunan	Kondisi	Ek (J)
Tanpa <i>flywheel</i>	Awal	-
	Beban	-
	Akselerasi	-
1 Poros <i>flywheel</i>	Awal	1.713,82
	Beban	1.126,15
	Akselerasi	441,96
2 Poros <i>flywheel</i> A	Awal	856,91
	Beban	649,84
	Akselerasi	338,01
2 Poros <i>flywheel</i> B	Awal	4.309,94
	Beban	3.428,01

Susunan	Kondisi	Ek (J)
	Akselerasi	1.248,69

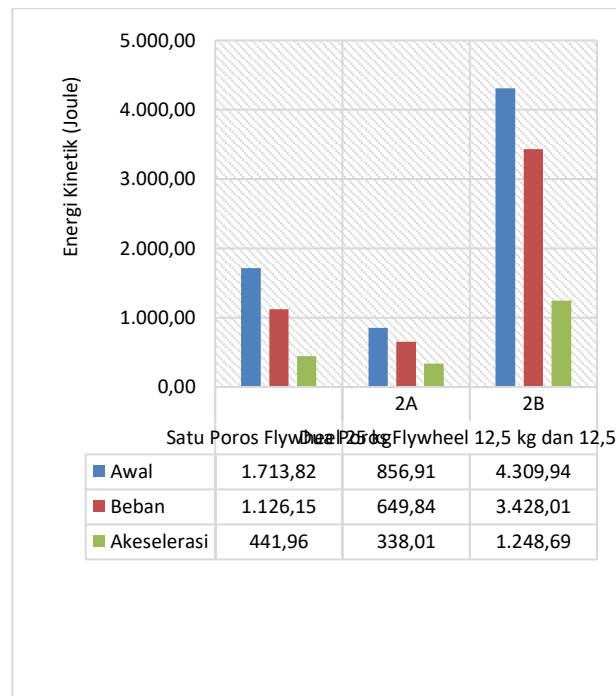
5. PEMBAHASAN



Gambar 12. Pengaruh susunan poros flywheel terhadap arus (A) generator beban gurinda duduk



Gambar 13. Pengaruh susunan poros flywheel terhadap tegangan (V) generator beban gurinda duduk



Gambar 14. Pengaruh susunan poros flywheel terhadap energi kinetik beban gurinda duduk

Berdasarkan hasil pengujian dari gambar 12, 13, dan 14 diatas pada beban gurinda tangan berdaya 300 Watt (1,3 A, 220 V), menunjukan bahwa pada susunan tanpa *flywheel* arus keluaran generator di beban gurinda tangan (1.100 Watt), arus hanya naik di 3,1 sampai turun 0 A dan tegangan berfluktuasi antara 228 sampai 27 V. Ketidakstabilan terjadi karena sistem tidak memiliki energi rotasi sehingga perubahan beban langsung memengaruhi putaran motor dan generator. Hal ini sejalan dengan [9] yang menyatakan jika motor dan generator langsung terhubung tanpa *flywheel*, motor bisa berhenti berputar karena torsi balik saat beban naik, serta [10] yang menjelaskan ketiadaan energi rotasi membuat daya keluaran generator tidak stabil tanpa *flywheel*.

Pada susunan satu poros *flywheel* bermassa 25 kg, performa generator menunjukkan kestabilan yang lebih baik dibandingkan tanpa *flywheel*. Pada beban gurinda tangan (1.100 Watt) arus berada pada rentang 5,0 A hingga 1,2 A. Tegangan keluaran menjadi lebih stabil meski sedikit menurun saat beban aktif. *Flywheel*, dengan energi kinetik rotasi awal sebesar 1.713,82 Joule, mampu mempertahankan putaran tetap tinggi selama beban bekerja. Penggunaan *flywheel* efektif menjaga kestabilan arus, tegangan, dan putaran generator. Hal ini sejalan dengan [10] yang menjelaskan bahwa *flywheel* dapat meningkatkan kestabilan keluaran generator melalui penyimpanan energi mekanik, serta [11] yang menunjukkan bahwa energi rotasi yang tersimpan dapat disalurkan kembali ketika beban meningkat, sebagaimana dibuktikan bahwa penggunaan teknologi penyimpanan energi dapat meningkatkan kestabilan dan kualitas jaringan listrik.

Pada susunan dua poros *flywheel* dengan massa masing-masing 12,5 kg, kinerja generator menunjukkan kestabilan yang lebih baik dibandingkan satu poros *flywheel* 25 kg. Pada gurinda tangan, arus naik di 5,71-1,27 A dan tegangan stabil ketika kondisi beban aktif. Dua poros *flywheel* yang berputar bersama menjaga kestabilan *output* generator dengan poros A mempertahankan putaran saat beban naik, dan poros B menyimpan energi kinetik lebih besar karena putaran lebih tinggi. Putaran awal mencapai 898 Rpm (poros A) dan 2.014 Rpm (poros B). Saat beban aktif, putaran turun signifikan tetapi tetap lebih stabil dibanding susunan poros sebelumnya. Energi kinetik masing-masing poros awalnya sebesar 856,91 Joule (poros A) dan 4.309,94 Joule (poros B) kemudian menurun bertahap sehingga fluktuasi arus dan tegangan dapat diredam. Adanya dua massa inersia ini memungkinkan penurunan energi kinetik secara bertahap, menjaga kestabilan arus dan tegangan generator saat beban bekerja. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi dua *flywheel* dengan massa yang seimbang mampu meningkatkan kapasitas penyimpanan energi kinetik total dan menurunkan tingkat fluktuasi daya keluaran generator [2]. Selain itu, durasi putaran *flywheel* dipengaruhi oleh inersia [12].

6. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, dapat disimpulkan bahwa susunan poros *flywheel* memengaruhi kestabilan arus, tegangan, putaran, dan energi kinetik generator. Tanpa *flywheel*, output generator sangat tidak stabil. Susunan satu poros *flywheel* 25 kg menunjukkan perbaikan kestabilan, meskipun penurunan masih terjadi saat beban aktif. Susunan dua poros *flywheel* masing-masing 12,5 kg memberikan kestabilan lebih baik dibandingkan susunan satu poros karena energi kinetik total yang lebih besar pada poros A yaitu 856,91 Joule dan poros B yaitu 4.309,94 Joule. Dengan demikian, susunan dua poros *flywheel* 12,5 kg dan 12,5 kg adalah yang paling efektif untuk menjaga kestabilan output generator.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Rahmadani, N. S. & Sulistyanto, A., 2023, "Analisa Hubungan Massa Dengan Penyimpan Energi Menggunakan Variasi Massa *Flywheel* 30 kg, 45 kg, dan 60 kg", Universitas Muhammadiyah Surakarta, available at: <https://eprints.ums.ac.id/115846/1/Naskah%20Publikasi.pdf>.

- [2]. Jaya, Muh. A., Hamri, H., Habib, F. & Efendi, R., 2022, “Perencanaan Pembangkit Listrik Berbasis *Flywheel* Ganda”, *Jurnal Mekanova: Mekanikal, Inovasi dan Teknologi*, <https://doi.org/10.35308/jmkn.v8i1.4126>.
- [3]. Razali, R. & Stephan, S., 2017, “Rancang Bangun Mesin Pembangkit Listrik Tanpa BBM Berkapasitas 3000 Watt Dengan Memanfaatkan Putaran *Flywheel*”, *Jurnal Media Elektro*, 45-48, <https://doi.org/10.35508/jme.v0i0.585>.
- [4]. Ariffaiuddin, S. & Budijono, A. P., 2018, “Rancang Bangun Prototype Alat Untuk Meningkatkan Energi Listrik Alternatif Menggunakan *Flywheel* Generator”, 04.
- [5]. Sugiarto, B., 2024, “Pengaruh Rasio Pulley Terhadap Beban Maksimal Pemakaian Mesin Listrik Portabel Ramah Lingkungan”, *Nozzle: Journal Mechanical Engineering*, Vol. 12, No. 2, <https://doi.org/10.30591/nozzle.v12i2.6672>.
- [6]. Sugiharto, H. & Supriyanto, S., 2023, “Rancang Bangun Sistem Pembangkit Listrik Kapasitas 1.100 Watt”, *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, Vol. 14, No. 1, 141-146, <https://doi.org/10.35313/irwns.v14i1.5375>.
- [7]. Mesin, A. S. & Firman, L. O. M., 2021, “Kajian Eksperimental Hybrid Energi Surya Dan Roda Gila Pada Suplai Energi Listrik Kapasitas 3 KW”, *Teknobiz: Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, Vol. 11, No. 1, 12-19, <https://doi.org/10.35814/teknobiz.v11i1.2078>.
- [8]. Surianto, B., 2018, “Analisis Perbandingan Daya Dan Torsi Pada Alat Pemotong Rumput Elektrik (APRE)”, *Jurnal Voering*, Vol. 3, No. 1, Juli.
- [9]. Giridhar, S. N., Samanvita, N., Hegde, V. & Babu, R., 2024, “Design of Flywheel Energy Generation System”, *Intelektual Journal of Energy Harvesting and Storage*, Vol. 2, No. 2, 95-124.
- [10]. Winarso, Romadhona, G. & Kurniawan, I. H., 2023, “Pemanfaatan Energi Inersia Fly Wheel Untuk Menstabilkan Tegangan Keluaran Generator DC Shunt”, *Techno*, Vol. 24, No. 2, 89-96, <http://jurnalnasional.ump.ac.id/index.php/Techno>.
- [11]. Kai, Xu., Youguang, G., Gang, L. & Jianguo, Z., 2023, “A review of flywheel energy storage system technologies”, *Energies*, Vol. 16, No. 18, <https://doi.org/10.3390/en16186462>.
- [12]. Faizun, M. M., Basuki, H. A., Mulyadi, S. & Kalimantan, J., 2014, “Analisis Penyerapan Energi Kinetik pada Berbagai Variasi Kecepatan dan Inersia Flywheel”.