
Perencanaan Pembangkit Listrik Berbasis *Flywheel* Ganda

(Dual Flywheel Based Power Plant Planning)

Muh. Aksan Jaya*¹, Hamri², Faisal Habib³, Rustam Efendi⁴

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muslim Indonesia

Jl. Urip Sumoharjo KM. 5, Makassar, Indonesia

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sulawesi Tenggara

Jl. Kapten Piere Tandean No 190A, Baruga, Kendari, Indonesia

e-mail: *¹aksanjayam@gmail.com, ²hamri@umi.ac.id, ³faisalhabib.me@gmail.com,

⁴rustamefendi032@gmail.com

Abstrak

Energi listrik merupakan kebutuhan vital di abad 21 ini. Sumber energi listrik selama ini bersumber dari energi fosil terus mengalami penurunan pasokan dan berbagai macam isu lingkungan akan penggunaan energi fosil. Salah satu yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah menggunakan energi yang mungkin diambil kembali. 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. 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 (i) motor listrik-flywheel sebesar 1,3 dan flywheel-generator 1, ukuran V Belt motor listrik-flywheel adalah A-43 dan flywheel-generator A-45.

Kata kunci : energi listrik, energi kinetik, flywheel, torsi

Abstract

Electrical energy is a vital need in the 21st century. Sources of electrical energy so far have been sourced from fossil energy, which continues to experience a decline in supply and various environmental issues regarding the use of fossil energy. One thing that can be done to overcome this problem is to use energy that can be recovered. The Flywheel Energy Storage System can be developed, with the kinetic energy possessed by the flywheel making it possible to increase the energy supply capacity. The purpose of this research is to design and test a flywheel-based energy generator. The planning method is a method of calculating machine elements. The results of the calculation of the flywheel-based power plant planning obtained flywheel angular velocity (ω) of 181,42 rad/s, moment of inertia 0,35 kg/m², torque of 4,28 Nm, kinetic energy of 5.825 Joules. The rotation ratio (i) of the electric-flywheel motor is 1,3 and the flywheel-generator 1, the V Belt size of the flywheel-electric motor is A-43 and the flywheel-generator is A-45.

Keywords— electrical energy, flywheel, kinetic energy, torque

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan vital di abad 21 ini. Sumber energi listrik selama ini bersumber dari energi fosil terus mengalami penurunan pasokan dan berbagai macam isu lingkungan akan penggunaan energi fosil. Upaya untuk menemukan energi terbarukan pun terus digalakkan dalam rangka untuk memenuhi kebutuhan manusia akan listrik.

Di antara upaya untuk mendapatkan sumber energi baru atau dalam rangka meningkatkan kapasitas ketersediaan listrik yakni dengan merancang bangun sebuah sistem yang bisa meningkatkan kapasitas daya listrik. Sistem tersebut menggunakan motor listrik yang terhubung dengan flywheel dan dayanya diteruskan ke generator.

Flywheel yang memiliki energi kinetik mampu menggerakkan generator. Desain sebuah sistem pembangkit listrik yang terdiri dari mesin pembangkit dan sistem suplai cadangan untuk motor listrik [1]. Dari hasil desain tersebut diuji coba tanpa beban dalam durasi 22 detik menghasilkan daya sebesar 860,1 Watt dan dengan menggunakan pembebanan dalam durasi 18 detik menghasilkan daya sebesar 708,75 Watt. Penelitian yang serupa juga dilakukan oleh [2] mendapatkan hasil output daya atau keluaran dari generator dua kali lipat dari daya yang digunakan untuk menggerakkan sistem. Menurut [3] penggunaan *flywheel energy storage* mampu meningkatkan daya input semula 1.100 Watt menjadi 1.760 Watt dengan durasi kurang dari 1 menit. Penelitian mengenai *flywheel energy storage* telah banyak dilakukan. Namun, penggunaan dengan *double flywheel* dipandang penting untuk diteliti sehingga penelitian ini dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung perencanaan pembangkit listrik berbasis *flywheel*.

2. METODE PENELITIAN

Perancangan dimulai dari perhitungan perencanaan pembangkit listrik berbasis *flywheel* menggunakan metode perencanaan elemen mesin, selanjutnya menggambar pembangkit listrik yang telah direncanakan. Input data perhitungan perencanaan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi data yang digunakan

Diameter <i>flywheel</i>	33	cm	330	mm
Massa <i>flywheel</i> (menggunakan <i>flywheel</i> ganda)	26	kg		
Motor Listrik	2	HP	1.490	Watt
Generator	3	KW	3.000	Watt
Putaran Generator	1.500	rpm		
Putaran motor	1.300	rpm		
Diameter puli motor listrik (dp_1)	4	inchi	101,6	mm
Diameter puli generator	3	inchi	76,2	mm
Diameter puli <i>flywheel</i> (dp_2)	3	inchi	76,2	mm
Panjang sabuk dari generator ke <i>flywheel</i>	46	cm	460	mm
Panjang sabuk dari <i>flywheel</i> ke motor listrik	43	cm	430	mm
Jarak poros dari <i>flywheel</i> ke generator	49	cm	490	mm
Jarak poros dari <i>flywheel</i> ke motor	45	cm	450	mm
<i>Cross-section area</i> [4]	0,8	cm ²		
Berat jenis [4]	0,00075	kg/cm ³		
Modulus elastisitas bahan sabuk [4]	300	kg/cm ³		
Tebal sabuk [4]	0,8	cm		
Tegangan awal sabuk	12	kg/cm ²		
faktor koreksi [5]	1,4			

3.1 Analisis *Flywheel*

Energi yang tersimpan dalam *flywheel* kemudian digunakan untuk menghitung dimensi *flywheel*. Untuk mencari kecepatan sudut (ω) dapat menggunakan persamaan (1) [6].

$$\omega_1 = \frac{2\pi n}{60} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan

- n : Putaran poros *flywheel* (rpm)
- ω_1 : Kecepatan sudut (rad/s)

Momen inersia massa pada *flywheel* dapat dicari menggunakan persamaan (2) [6].

$$I = \frac{1}{2} m r^2 \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

- I : Momen inersia (kg/m²)
- m : Massa *flywheel* (kg)
- r : Jari-jari *flywheel* (m)

Torsi *flywheel* dapat dihitung menggunakan persamaan (3) [6].

$$T = I \alpha \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan

- T : Torsi (Nm)
- α : Percepatan (rad/s²)
- I : Momen Inersia (kg/m²)

Energi kinetik pada *flywheel* dapat menggunakan persamaan (4) [6].

$$E_k = \frac{1}{2} I \omega^2 \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan

- E_k : Energi kinetik (Joule)
- ω : Kecepatan sudut (rad/s)
- I : Momen inersia (kgm²)

3.2 Perencanaan Daya

Perencanaan daya adalah suatu hal yang penting dalam sebuah proses perencanaan agar beban dapat dipertimbangkan maka dapat dihitung dengan hubungan persamaan (5) [5].

$$P_d = f_c \times P \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan

- P_d : Daya Perencanaan (kW)
- f_c : Faktor koreksi
- P : Daya motor listrik (kW)

3.3 Analisis Generator

Perhitungan putaran generator dapat dihitung dengan mengalikan hasil perbandingan *pulley* antara *flywheel* dan generator. Berikut perhitungan putaran poros melalui persamaan (6) [5].

$$n_2 = n_1 \times i \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan :

- n_1 : Putaran poros *flywheel* (rpm)
- i : Perbandingan *pulley*

3.4 Pulley Penggerak

Dengan menggunakan perbandingan diameter *pulley* penggerak sebagai transmisi kita dapat menaikkan atau menurunkan kecepatan putaran sehingga dari perbandingan diameter 2 buah *pulley* penggerak didapat. Untuk memilih dan menghitung besarnya diameter *pulley*, dapat menggunakan rumus perbandingan putaran (i) [5]. Bila rangkaian diabaikan, maka dapat hitung dengan menggunakan hubungan persamaan (7).

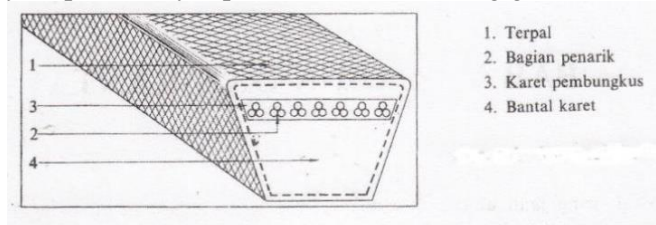
$$i = \frac{dp_1}{dp_2} \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan :

- dp₁ : Diameter motor listrik (mm)
- dp₂ : Diameter *pulley flywheel* (mm)

3.5 Sabuk-V

Sabuk digunakan untuk mentransmisikan daya dari poros yang satu ke poros yang lainnya melalui *pulley* yang berputar dengan kecepatan sama atau berbeda. *Pulley* sabuk-V merupakan salah satu elemen mesin yang berfungsi untuk mentransmisikan daya seperti halnya sproket rantai dan roda gigi [5].



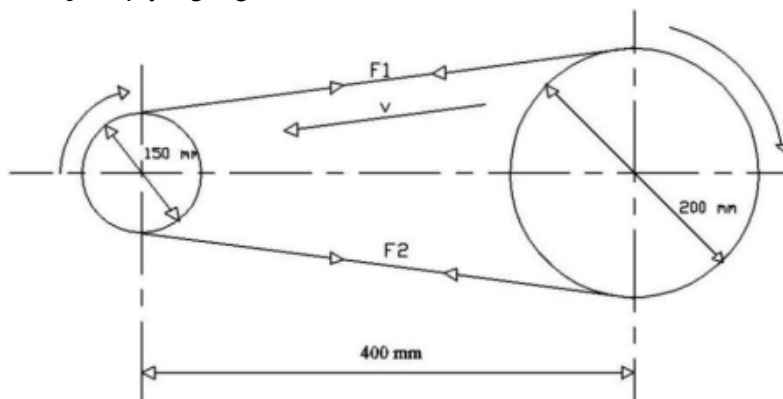
Gambar 1. Sabuk-V

Adapun sabuk dan *pulley* yang digunakan dalam generator, motor listrik, dan *flywheel* untuk mengetahui panjang keliling sabuk-V dapat dihitung dengan menggunakan hubungan persamaan (8) [5].

$$L = 2C + \frac{\pi}{2} (dp + dp) + \frac{1}{4C} (dp - dp) \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan :

- C : Jarak sumbu poros (mm)
- dp₁ : Diameter *pulley* penggerak (mm)
- dp₂ : Diameter *pulley* yang digerakkan (mm)



Gambar 2 Diameter *pulley* dan jarak antar sumbu

Persamaan (9) digunakan untuk menghitung kecepatan linear/keliling sabuk [5].

$$v = \frac{3.14 \times dp_1 \times n_1}{60 \times 1000} \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan :

- v : Kecepatan keliling (m/s)
 dp_1 : Diameter *pulley* penggerak (mm)
 n_1 : Putaran *pulley* penggerak (rpm)

Gaya keliling sabuk dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (10) [5].

$$F_{rated} = \frac{102 Pd}{v} \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan :

- Pd : Daya perencanaan (kW)
 v : Kecepatan keliling (m/s)

Tegangan maksimum yang terjadi ketika belt bekerja terdiri dari tegangan awal, tegangan untuk mentransmisikan daya, tegangan bending dan tegangan karena gaya sentrifugal. Maka tegangan maksimum dapat dirumuskan sebagai berikut [4]:

$$\sigma_{max} = \sigma_0 + \frac{F}{2A} + \frac{\gamma.v^2}{10g} + Eb \frac{h}{D_{min}} \dots\dots\dots(11)$$

Keterangan :

- σ_{max} : Tegangan yang timbul pada sabuk (kg/cm^2)
 σ_0 : Tegangan awal pada sabuk (kg/cm^2)
 F : Gaya keliling (kg)
 A : *Cross-section area* (cm^2)
 γ : Berat jenis (kg/dm^3)
 v : Kecepatan linier (m/s)
 g : Percepatan gravitasi (m/s^2)
 Eb : Modulus elastisitas bahan sabuk (kg/cm^3)
 h : Tebal sabuk (mm)
 D_{min} : diameter *pulley* kecil (mm)

Jumlah putaran sabuk dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (12) [4].

$$u = \frac{v}{L} \dots\dots\dots(12)$$

Keterangan :

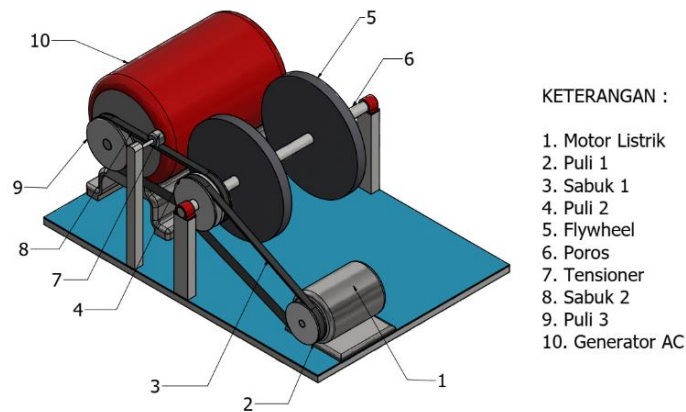
- v : Kecepatan keliling (m/s)
 L : Panjang sabuk (m)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

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 kg^2 dan 62,87 kg/cm^2 , jumlah putaran sabuk motor listrik-*flywheel* sebesar 8,5 per detik dan *flywheel*-generator 6,1 per detik.

Setelah melakukan perhitungan perencanaan maka dilanjutkan dengan pembuatan gambar pembangkit listrik berbasis *flywheel*. Pembangkit listrik yang direncanakan disajikan

pada Gambar 3. Kesesuaian faktual dengan hasil perancangan hanya bisa dibuktikan dengan ada rancang bangun. Hanya saja pada penelitian ini sebatas menyajikan perhitungan perencanaan.



Gambar 3 Sistem pembangkit listrik berbasis *flywheel* ganda
4. KESIMPULAN

Perhitungan perencanaan telah dilakukan pada penelitian ini sesuai dengan acuan perencanaan elemen mesin. Hasil perhitungan perencanaan pembangkit listrik berbasis *flywheel* didapatkan *flywheel* dengan hasil-hasil sebagai berikut.

1. kecepatan sudut *flywheel* (ω) sebesar 181,42 rad/s, momen inersia 0,35 kg/m², torsi 428, Nm, energi kinetik 5.825 Joule
2. perbandingan putaran (i) motor listrik-*flywheel* sebesar 1,3 dan *flywheel*-generator 1, ukuran *V Belt* motor listrik-*flywheel* adalah A-43 dan *flywheel*-generator A-45. Putaran generator 1.733 rpm.

5. SARAN

Perlu dilakukan rancang bangun pembangkit listrik berbasis *flywheel* untuk membuktikan perhitungan perencanaan yang telah dilakukan dan apakah daya yang dihasilkan generator lebih besar dari daya yang disuplai ke motor listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tangko J, Tandioga R, Djufri I, et al. Analisis Pembangkit Listrik Berbasis Flywheel. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi* 2019; 17: 77–83.
- [2] Razali R, Stephan S. Rancang Bangun Mesin Pembangkit Listrik tanpa BBM Berkapasitas 3000 Watt dengan Memanfaatkan Putaran Flywheel. *Jurnal Media Elektro* 2017; 6: 45–48.
- [3] Ariffaiuddin S, Budijono AP. Rancang Bangun Prototype Alat Untuk Meningkatkan Energi Listrik Alternatif Menggunakan Flywheel Generator. *Jurnal Rekayasa Mesin* 2018; 4: 31–35.
- [4] Dobrovolsky V. *Machine Elements*. Moscow: Peace Publishers, 1985.
- [5] Sularso, Suga K. *Dasar Perencanaan dan Elemen Mesin*. 12 nd. Jakarta: Pradnya Paramitha, 2008.
- [6] Khurmi R, Gupta AJ. *Textbook of Machine Design*. S. Chand Publishing, 2005.