

Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Bandul

^a Dudi Suparyogi, Muhamad Firmansah

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kebangsaan Republik Indonesia

Jalan Terusan Halimun No.37, Bandung 40263, Indonesia

email: ^a dudisuparyogi@ukri.ac.id

Abstrak

Energi listrik merupakan energi yang sangat dibutuhkan dalam kehidupan manusia di era modern ini. Hampir semua aktivitas manusia dibantu oleh teknologi yang menggunakan energi listrik sehingga penggunaan energi listrik terus meningkat. Pada saat ini energi listrik masih tergantung pada bahan bakar fosil yang persediaannya terbatas. Untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil telah diupayakan berbagai pembangkit listrik dari sumber energi alternatif yang terbarukan. Sumber energi terbarukan berasal dari sejumlah sumber: dari pembusukan mineral radioaktif dan panas bumi yang menyediakan energi panas bumi; dari perputaran bumi dan energi matahari yang menghasilkan arus laut, angin dan pada gilirannya, gelombang; dan terakhir dari panas matahari itu sendiri. Berkaitan dengan energi alternatif, terdapat banyak hal yang dapat dijadikan sebagai energi alternatif untuk menghasilkan sebuah energi listrik. Salah satu contohnya yaitu memanfaatkan energi mekanik dari sebuah bandul. Energi mekanik yang dihasilkan oleh bandul dengan berat 10 kg dengan jumlah 2 buah bandul dan satu bandul menghasilkan torsi sebesar 75,56 Nm, akan dikonversikan menjadi energi listrik melalui *pulley* dengan susunan *pulley* yang berbeda-beda ukuran, lalu dihubungkan pada generator DC 12 V 250-300 rpm dengan beban lampu 5 watt DC. Dari hasil penelitian, output listrik yang dihasilkan paling tinggi sebesar 9,9 V DC dengan arus 0,2 A diperoleh daya sekitar 1,98 watt, dan output listrik terendah sebesar 3,8 V DC dengan arus 0,01 A diperoleh daya sekitar 0,038 watt.

Kata kunci: energi listrik, pembangkit listrik alternatif, bandul.

Abstract

Electrical energy is energy that is really needed in human life in this modern era. Almost all human activities are assisted by technology that uses electrical energy so that the use of electrical energy continues to increase. Currently, electrical energy still depends on fossil fuels, which are in limited supply. To reduce dependence on fossil fuels, efforts have been made to generate electricity from alternative, renewable energy sources. Renewable energy sources come from a number of sources: from the decay of radioactive and geothermal minerals that provide geothermal energy; from the rotation of the earth and the energy of the sun which produces ocean currents, winds and in turn, waves; and finally from the heat of the sun itself. Regarding alternative energy, there are many things that can be used as alternative energy to produce electrical energy. One example is utilizing mechanical energy from a pendulum. The mechanical energy produced by a pendulum weighing 10 kg with 2 pendulums and one pendulum producing a torque of 75.56 Nm, will be converted into electrical energy via pulleys with different sized pulley arrangements, then connected to a 12 V 250 DC generator. -300 rpm with a 5 watt DC lamp load. From the research results, the highest electrical output produced was 9.9 V DC with a current of 0.2 A, obtaining a power of around 1.98 watts, and the lowest electrical output of 3.8 V DC with a current of 0.01 A obtained a power of around 0.038 watt.

Keywords: electrical energy, alternative power generation, pendulum.

Diterima : 27 Februari 2024

Diperbaiki : 18 Maret 2024

Disetujui : 19 Maret 2024

Dudi Suparyogi, Muhamad Firmansah

Under the license CC BY-SA 4.0

Pendahuluan

Seiring berjalannya waktu, kebutuhan energi listrik terus meningkat. Sedangkan pada saat ini masih memiliki ketergantungan pada sumber energi fosil yang merupakan sumber energi yang akan habis atau tidak dapat diperbaharukan, dimana ketersediaannya saat ini semakin terbatas. Untuk membantu memenuhi kebutuhan listrik di kehidupan manusia, diperlukan pembangkit listrik yang berasal dari energi baru terbarukan untuk mengurangi penggunaan energi yang berasal dari bahan bakar fosil. Energi listrik merupakan suatu energi yang sangat dibutuhkan dalam memenuhi kebutuhan kehidupan manusia pada saat ini. Hampir seluruh aktivitas manusia dibantu oleh teknologi yang menggunakan energi listrik. Kebutuhan energi listrik yang berbanding lurus dengan meningkatnya populasi manusia, membuat manusia secara cepat harus beralih menuju sumber alternatif dari energi baru terbarukan sebagai upaya pengurangan penggunaan sumber energi dari fosil yang ketersediaannya saat ini semakin menipis. Berkaitan dengan sumber energi alternatif, penulis memiliki alternatif lain yaitu energi mekanik yang dihasilkan oleh gerak ayun dari suatu bandul. Energi mekanik yang dihasilkan oleh bandul akan dikonversikan menjadi energi listrik melalui gerak rotasi yang dihasilkan oleh *pulley* yang terhubung pada poros bandul dan generator sehingga menghasilkan energi listrik.

Bandul adalah sebuah benda yang terdiri dari sebuah titik massa, yang digantung pada seutas tali. Jika bandul ditarik pada satu sisi dari posisi seimbangannya dan dilepaskan, maka bandul akan berayun dalam bidang vertikal akibat pengaruh gravitasi. Gerakannya merupakan gerak osilasi dan periodik, sehingga dapat disebut dengan ayunan sederhana (Serway, 2009). Gerak Osilasi merupakan variasi periodik terhadap waktu dari suatu pengukuran. Pada kata osilasi sering digunakan kata vibrasi atau getaran persamaan kata atau sinonimnya, kata vibrasi atau getaran merujuk pada jenis spesifik dari osilasi mekanis. Contoh gerak osilasi adalah gerak pada ayunan bandul sederhana (Soedjojo, 1986). Gerak Harmonik Sederhana (GHS) yaitu semua sistem yang bergetar dimana gaya pemulih berbanding lurus dengan negative perpindahan (Giancoli, 2014). Menurut (Young & Freedman, 2002), gerak harmonik sederhana suatu getaran dimana resultan gaya yang bekerja pada titik sembarang selalu mengarah ke titik kesetimbangan dan besar resultan gaya sebanding dengan jarak titik sembarang ke titik kesetimbangan tersebut.

Riset yang dilaporkan dalam artikel ini menyelidiki pemanfaatan energi mekanik yang dihasilkan oleh bandul sebagai sumber tenaga listrik. Jumlah bandul yang digunakan adalah dua buah, masing-masing bermassa 10 kg. Energi mekanik yang dihasilkannya dikonversikan menjadi energi listrik melalui *pulley* –dengan susunan *pulley* yang berbeda-beda ukuran– lalu dihubungkan ke generator DC 12 V 250-300 rpm dengan beban lampu 5 watt. Voltase, arus, dan daya yang dihasilkan dalam pengujian kemudian dicatat dan dianalisa, untuk kemudian disimpulkan.

Tinjauan Teori

Bandul fisis atau juga disebut sebagai ayunan fisis merupakan ayunan yang dimana beban logam digantung pada batang yang massa penggantungnya tidak dapat diabaikan seperti bandul matematis. Bandul fisis adalah sembarang pendulum nyata, menggunakan suatu benda dengan ukuran terhingga, kontras dengan model idealisasi dari bandul sederhana dengan semua massanya terkonsentrasi pada satu titik tunggal (Young & Freedman, 2002). Pada bandul berlaku hubungan

$$\tau = -(mg) \cdot (d \cdot \sin\theta) \quad (1)$$

di mana τ merupakan besar momen gaya pada bandul (Nm), m adalah beban bandul (kg), g adalah percepatan gravitasi (m/s^2), d adalah jarak antara poros O ke pusat massa gabungan pg (m), dan θ adalah sudut simpangan.

Daya. Daya ditentukan dengan persamaan

$$P = \frac{W}{t} \quad (2)$$

Dimana P adalah daya listrik (watt, W), W adalah usaha (joule, J), dan t adalah waktu (detik atau sekon, s). Selain itu, daya listrik dapat dihubungkan dengan tegangan listrik V (volt, V) dan arus listrik I (ampere, A) melalui persamaan

$$P = VI \quad (3)$$

Torsi. Apabila gaya F (newton, N) yang dihasilkan bandul dan jarak lengan bandul r (meter, m) terhadap sumbu O diketahui, maka harga torsi τ (Nm) dapat dihitung dengan persamaan

$$\tau = F \cdot r \quad (4)$$

Diameter dan putaran pulley penggerak. *Pulley* adalah suatu komponen yang berfungsi sebagai penghubung gerakan yang diterima dari tenaga motor lalu diteruskan dengan menggunakan belt ke benda yang hendak digerakan (Sonawan, 2014). Hubungan antara putaran dan diameter *pulley* dapat dituliskan dalam

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_1}{d_2} \quad (5)$$

Parameter n (putaran per menit, rpm) dan d (mm) dalam persamaan (5) berturut-turut adalah putaran pada *pulley* penggerak dan diameter *pulley* yang digerakkan.

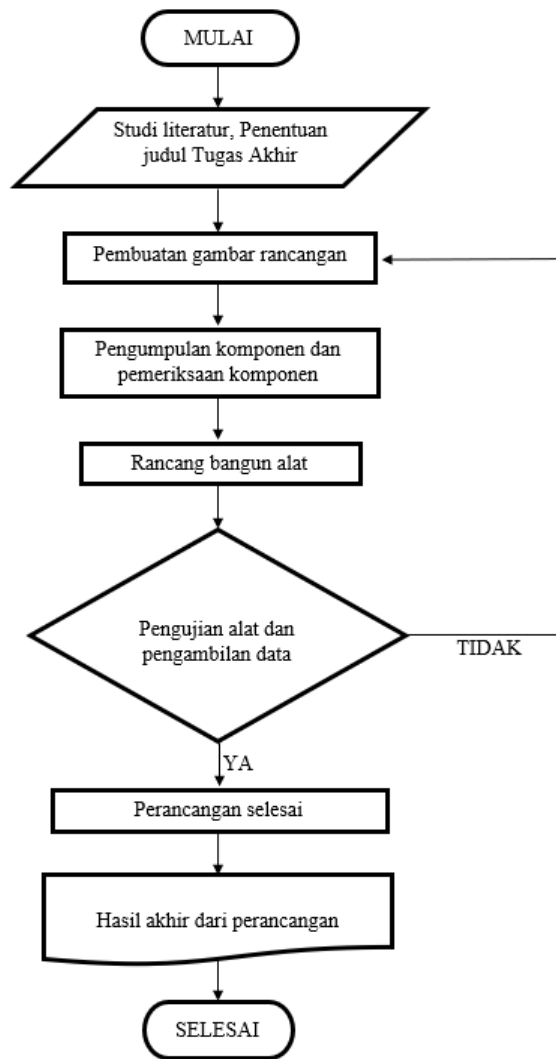
Poros merupakan komponen paling penting dari setiap mesin. Fungsinya untuk meneruskan daya bersama putaran. Poros Transmisi mendapat beban puntir murni atau puntir dan lentur dari daya yang ditransmisikan pada poros melalui kopling, roda gigi, *pulley*, atau sprocket rantai (Sularso & Suga, 1997).

Bantalan atau Bearing merupakan komponen elemen mesin yang memegang pranan penting, bearing memiliki fungsi menumpu sebuah poros sehingga poros dapat berputar dengan halus tanpa mengalami gesekan yang berlebihan. Menurut (Sularso & Suga, 1997). Generator merupakan pesawat bantu yang berfungsi mengubah energi gerak/mekanik menjadi energi listrik melalui proses induksi elektromagnetik.

Proses produksi adalah cara, metode dan teknik untuk menciptakan atau menambah kegunaan suatu barang atau jasa dengan menggunakan sumber-sumber tenaga kerja, bahan-bahan serta dana yang ada. Klasifikasi yang pertama yaitu proses bubut dan variasi proses yang dilakukan dengan menggunakan mesin bubut, mesin gurdi, mesin frais dan mesin gerinda. Klasifikasi kedua meliputi proses sekrup, proses slot, proses menggergaji serta proses pemotongan roda gigi (Widarto, 2008). Dan Pengelasan (welding) merupakan salah satu proses penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi atau tambahan untuk menghasilkan sambungan yang kontinu.

Metode Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa tahapan untuk memperoleh tujuan yang diharapkan. Pertama-tama tentu saja diskusi antara Muhamad Firmansah sebagai mahasiswa tingkat akhir Program Studi Teknik Mesin UKRI dan Dudi Suparyogi, ST. MT sebagai dosen pembimbing tugas akhir. Tahapan-tahapan berikutnya secara garis besar diberikan pada diagram alir dalam Gambar 1.

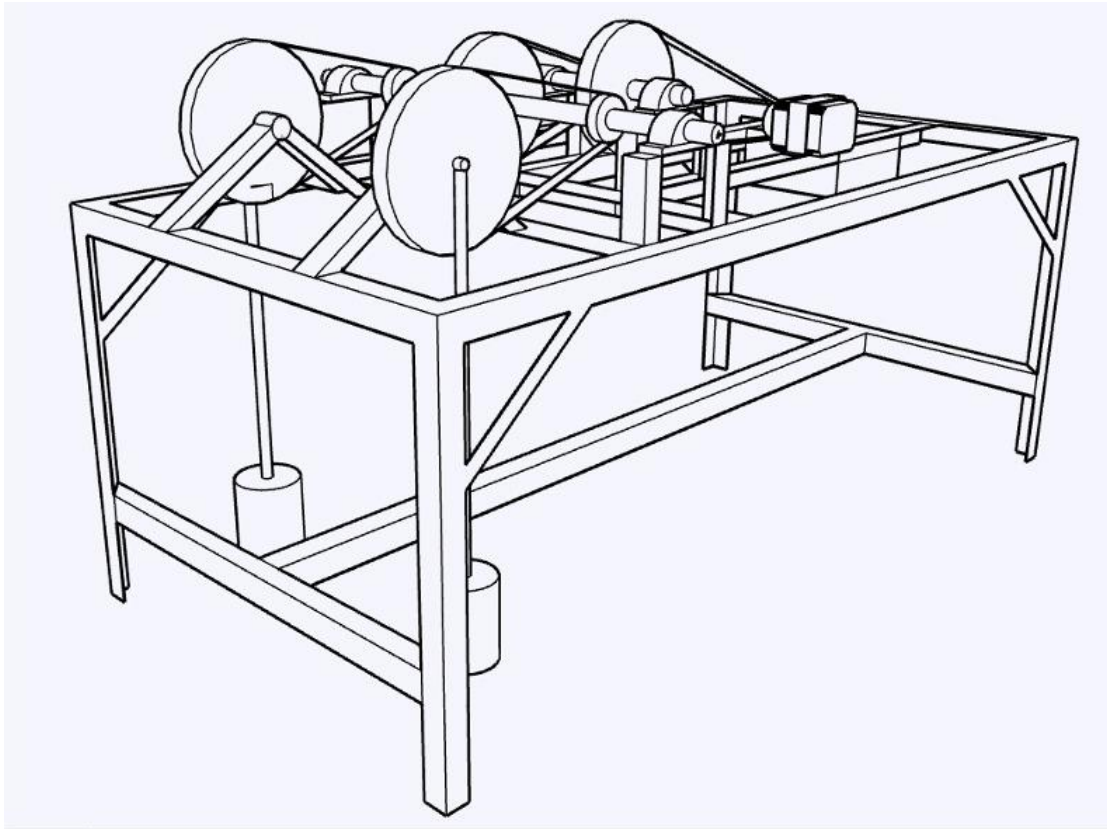


Gambar 1. Flowchart penelitian

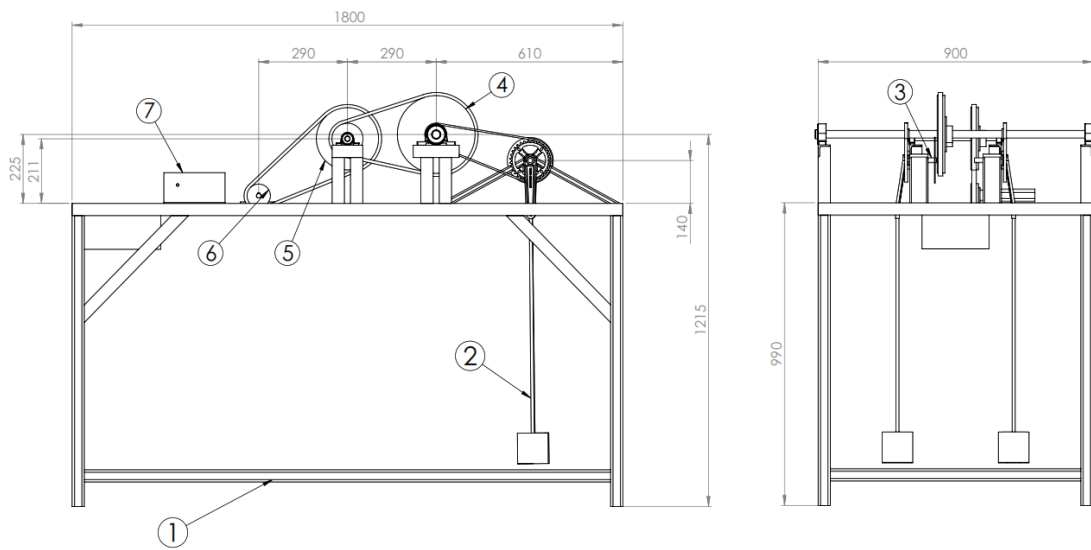
Prinsip kerja alat yang dibuat yaitu merubah gerak osilasi dari sebuah bandul yang terayun menjadi putaran poros *crank*. Caranya tentu saja dengan menghubungkan bandul dengan poros *crank* tersebut. Putaran yang dihasilkan oleh poros kemudian dikonversikan melalui *pulley* untuk menghasilkan putaran yang sesuai dalam rangka menghasilkan energi listrik pada sebuah generator.

Hasil dan Pembahasan

Gambar desain pembangkit listrik bertenaga ayunan bandul yang dibuat dalam penelitian ini dapat dilihat dalam Gambar 2. Dalam gambar ini satuan panjang yang ditunjukkan pada Gambar 2(b) dan 2(c) adalah dalam mm. Tabel 1 menunjukkan bahan-bahan yang digunakan untuk membuat komponen-komponennya. Desain ini kemudian diproduksi untuk kemudian diuji. Mesin yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 3.



(a)

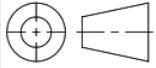


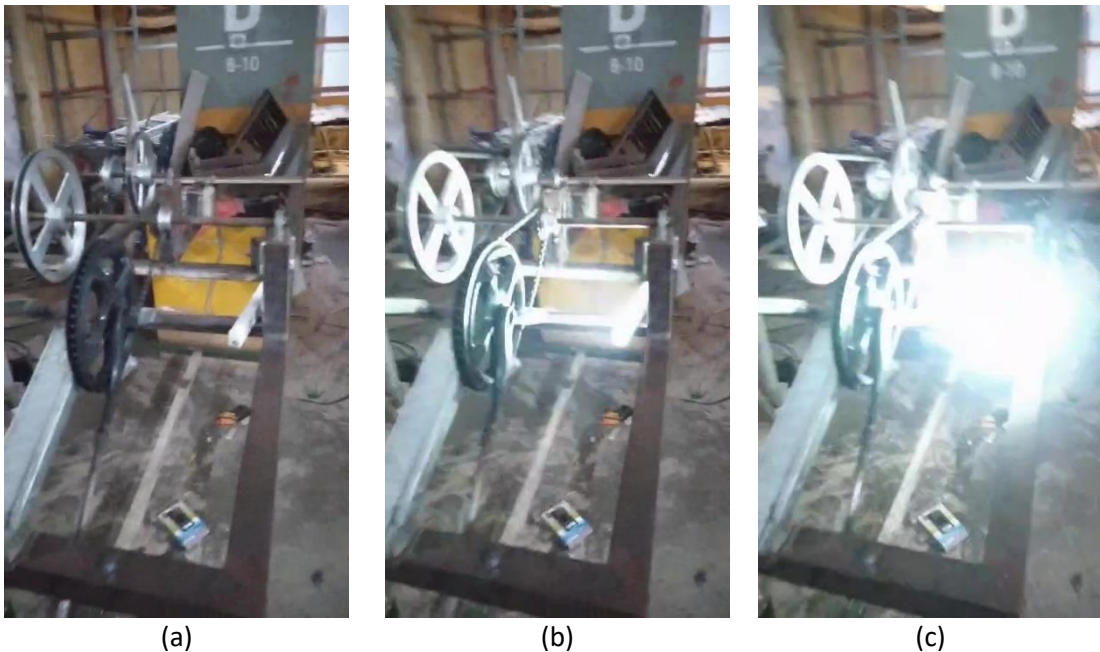
(b)

(c)

Gambar 2. Desain mesin penghasil listrik bertenaga osilasi bandul: (a) perspektif, (b) tampak depan, dan (c) tampak samping

Tabel 1. Komponen serta bahan yang digunakan

11	1	V-Belt 2	Rubber, Canvas, Cord	ASTM D2000, ASTM D3776, Astm B387
10	1	V-Belt 1	Rubber, Canvas, Cord	ASTM D2000, ASTM D3776, Astm B387
9	1	Chain	S45C	ASTM A29
8	1	Busur	Acrylic	ASTM D6083
7	1	Electrical System	Acrylic	ASTM D6083
6	1	Main Pulley 3	ALUMUNIUM	ASTM B209
5	1	Main Pulley 2	ALUMUNIUM	ASTM B209
4	1	Main Pulley 1	ALUMUNIUM	ASTM B209
3	1	Shaft Chain	ST-41	ASTM A36
2	2	Crank Gear	FC20	ASTM A588
1	1	Frame	ST-37	DIN 17100
NO	JUMLAH	NAMA	BAHAN	NORMALISASI
Kekasaran Permukaan dalam		Toleransi ukuran Dalam		
		Skala : 1:10	Digambar : Muhammad Firmansah	
		Satuan ukuran : mm	Jurusan : Teknik Mesin	
		Tanggal : 08-08-2023	NPM : 20191120010	



Gambar 3. Mesin pembangkit listrik bertenaga ayunan bandul: (a) kondisi tidak digunakan, (b) kondisi menghasilkan listrik kecil, dan (c) kondisi menghasilkan listrik maksimum

Hasil pengujian dengan satu bandul

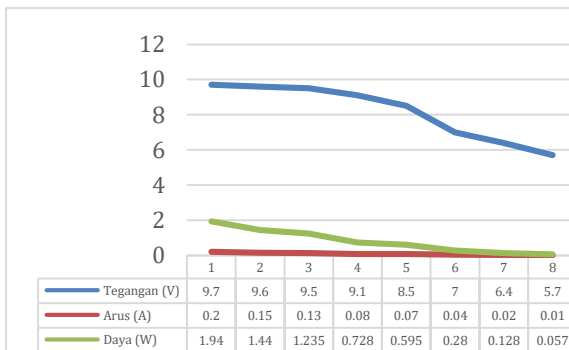
Pengujian dilakukan dengan memasang beban lampu 5 watt pada generator arus searah (DC) 12 V serta memberikan beberapa sudut simpangan pada satu bandul saat kondisi awalnya. Simpangan sudut divariasikan untuk 40°, 50°, dan 60°. Tegangan, arus, dan daya listrik yang dihasilkan di generator pun dicatat untuk setiap ayunan. Pengujian dihentikan bila lampu beban

pada generator sudah relatif padam. Durasi waktu dari pelepasan bandul sampai lampu beban padam juga dicatat.

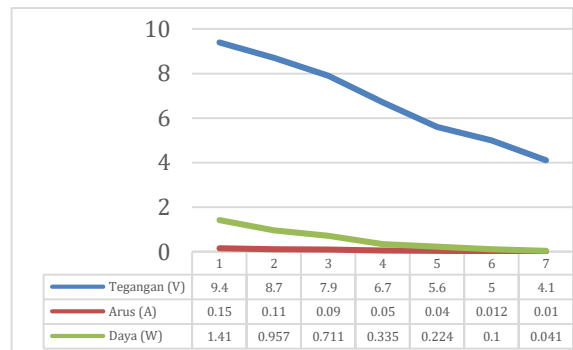
Pengujian dengan bandul sebelah kiri. Pengujian dilakukan dengan menggunakan satu bandul di sebelah kiri. Hasil pengujian untuk untuk sudut simpangan 60°, 50°, dan 40° berturut-turut dapat dilihat pada Gambar 4, 5, dan 6 serta ditabelkan di Tabel 2.

Tabel 2. Output listrik dari generator akibat ayunan bandul sebelah kiri

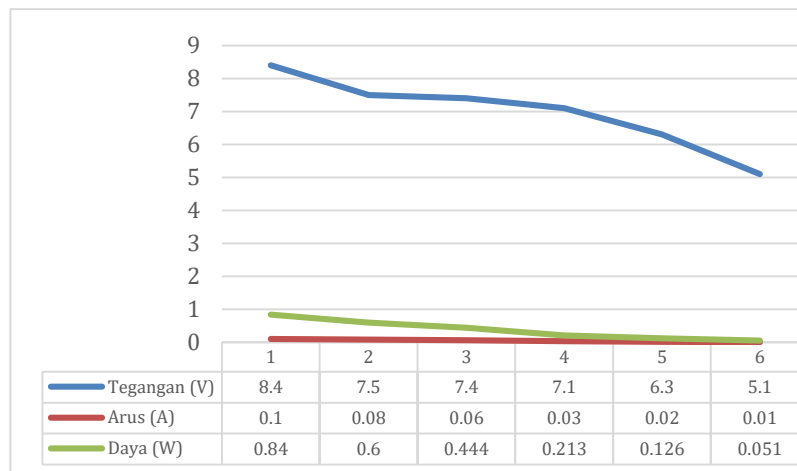
Sudut Simpangan	Jumlah Ayunan	Pengukuran daya listrik pada generator			Waktu (s)
		Tegangan (volt)	Arus (ampere)	Daya (watt)	
60°	1	9,7	0,2	1,94	14.73
	2	9,6	0,15	1,44	
	3	9,5	0,13	1,235	
	4	9,1	0,08	0,728	
	5	8,5	0,07	0,595	
	6	7	0,04	0,28	
	7	6,4	0,02	0,128	
	8	5,7	0,01	0,057	
50°	1	9,4	0,15	1,41	12.58
	2	8,7	0,11	0,957	
	3	7,9	0,09	0,711	
	4	6,7	0,05	0,335	
	5	5,6	0,04	0,224	
	6	5	0,02	0,1	
	7	4,1	0,01	0,041	
40°	1	8,4	0,1	0,84	11.07
	2	7,5	0,08	0,6	
	3	7,4	0,06	0,444	
	4	7,1	0,03	0,213	
	5	6,3	0,02	0,126	
	6	5,1	0,01	0,051	



Gambar 4. Grafik pengujian ayunan bandul kiri dengan sudut simpangan awal 60°



Gambar 5. Grafik pengujian ayunan bandul kiri dengan sudut simpangan awal 50°

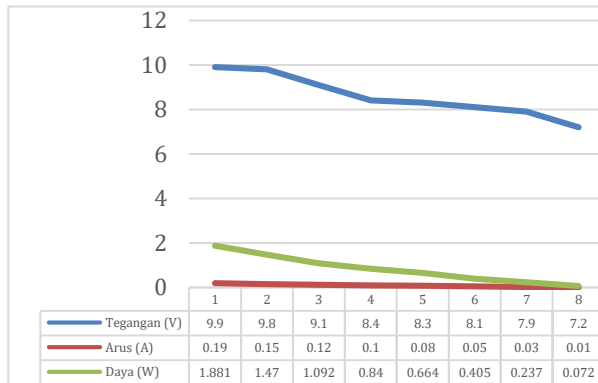


Gambar 6. Grafik pengujian ayunan bandul kiri dengan sudut simpangan awal 40°

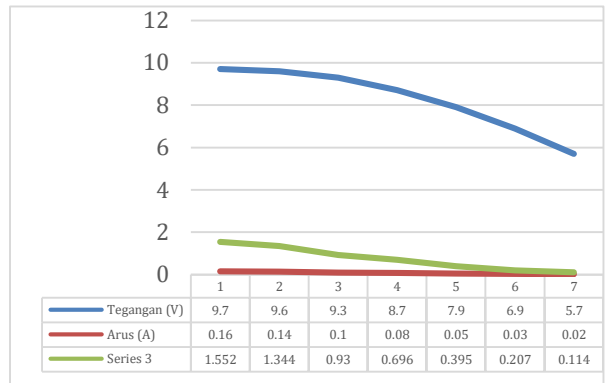
Pengujian dengan bandul sebelah kanan. Pada pengujian ini bandul diletakkan di sebelah kanan diberi simpangan sudut awal. Hasil pengujian untuk untuk sudut simpangan 60°, 50°, dan 40° berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 7, 8, dan 9 serta ditabelkan di Tabel 3.

Tabel 3. Output listrik dari generator akibat ayunan bandul sebelah kanan

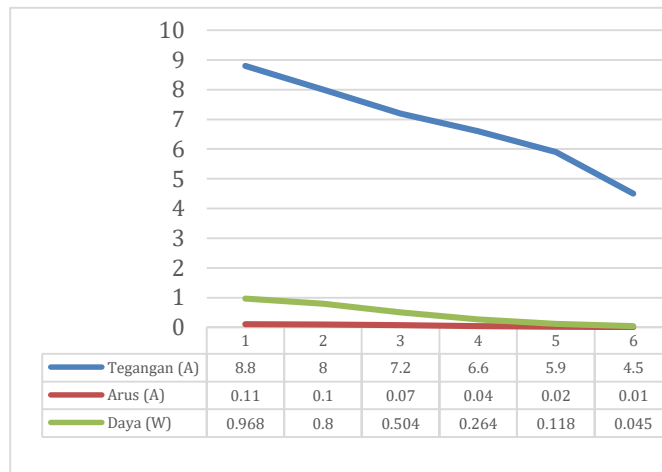
Sudut Simpangan	Jumlah Ayunan	Pengukuran daya listrik pada generator			Waktu (s)
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)	
60°	1	9,9	0,19	1,881	14.63
	2	9,8	0,15	1,47	
	3	9,1	0,12	1,092	
	4	8,4	0,1	0,84	
	5	8,3	0,08	0,664	
	6	8,1	0,05	0,405	
	7	7,9	0,03	0,237	
	8	7,2	0,01	0,072	
50°	1	9,7	0,16	1,552	12.78
	2	9,6	0,14	1,344	
	3	9,3	0,1	0,93	
	4	8,7	0,08	0,696	
	5	7,9	0,05	0,395	
	6	6,9	0,03	0,207	
	7	5,7	0,02	0,114	
40°	1	8,8	0,11	0,968	10,87
	2	8	0,1	0,8	
	3	7,2	0,07	0,504	
	4	6,6	0,04	0,264	
	5	5,9	0,02	0,118	
	6	4,5	0,01	0,045	



Gambar 7. Grafik pengujian ayunan bandul kanan dengan sudut simpangan awal 60°



Gambar 8. Grafik pengujian ayunan bandul kanan dengan sudut simpangan awal 50°



Gambar 7. Grafik pengujian ayunan bandul kanan dengan sudut simpangan awal 60°

Hasil pengujian dengan dua bandul

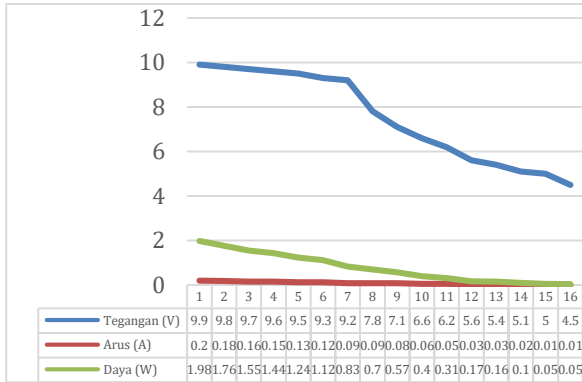
Pengujian dilakukan dengan menggunakan dua bandul –kiri dan kanan– dan memasang beban lampu 5 watt pada generator 12 V DC. Kedua bandul diberi simpangan sudut awal yang sama besar, baik dalam arah yang sama ataupun berlawanan. Simpangan sudut divariasikan untuk 40°, 50°, dan 60°. Tegangan, arus, dan daya listrik yang dihasilkan di generator pun dicatat untuk setiap ayunan. Bila lampu beban pada generator sudah relatif padam maka pengujian dihentikan. Durasi waktu dari pelepasan bandul sampai lampu beban padam juga dicatat.

Pengujian dengan menggunakan dua bandul dalam arah yang sama. Dalam pengujian ini bandul kiri dan kanan diberi simpangan sudut awal yang sama dalam arah yang sama, kemudian keduanya dilepaskan secara serentak. Hasil pengujiannya untuk untuk simpangan sudut awal 60°, 50°, dan 40° berturut-turut diperlihatkan pada Gambar 10, 11, dan 12 serta ditabelkan di Tabel 4.

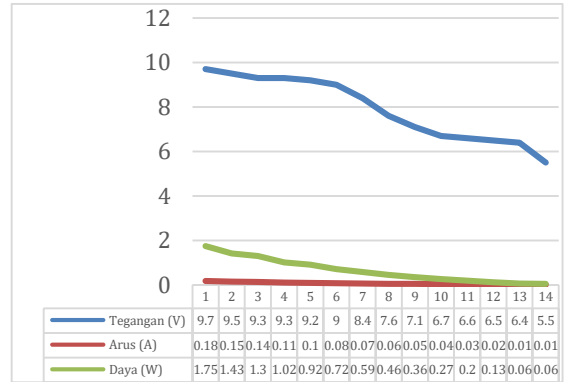
Tabel 4. Output listrik dari generator dengan penggerak dua bandul pada arah yang sama

Sudut Simpangan	Jumlah Ayunan	Pengukuran daya listrik pada generator			Waktu (s)
		Tegangan (volt)	Arus (ampere)	Daya (watt)	
60°	1	9,9	0,2	1,98	32,54
	2	9,8	0,18	1,764	
	3	9,7	0,16	1,552	
	4	9,6	0,15	1,44	
	5	9,5	0,13	1,235	
	6	9,3	0,12	1,116	
	7	9,2	0,09	0,828	
	8	7,8	0,09	0,702	
	9	7,1	0,08	0,568	
	10	6,6	0,06	0,396	
	11	6,2	0,05	0,31	
	12	5,6	0,03	0,168	
	13	5,4	0,03	0,162	
	14	5,1	0,02	0,102	
	15	5	0,01	0,05	
	16	4,5	0,01	0,045	
50°	1	9,7	0,18	1,746	26,75
	2	9,5	0,15	1,425	
	3	9,3	0,14	1,302	
	4	9,3	0,11	1,023	
	5	9,2	0,1	0,92	
	6	9	0,08	0,72	
	7	8,4	0,07	0,588	
	8	7,6	0,06	0,456	
	9	7,1	0,05	0,355	
	10	6,7	0,04	0,268	
	11	6,6	0,03	0,198	
	12	6,5	0,02	0,13	
	13	6,4	0,01	0,064	
	14	5,5	0,01	0,055	
40°	1	9,2	0,13	1,196	20,88
	2	8	0,09	0,72	
	3	6,7	0,1	0,67	
	4	6,1	0,08	0,488	
	5	5,6	0,07	0,392	
	6	5,2	0,06	0,312	
	7	5	0,03	0,15	
	8	4,9	0,03	0,147	

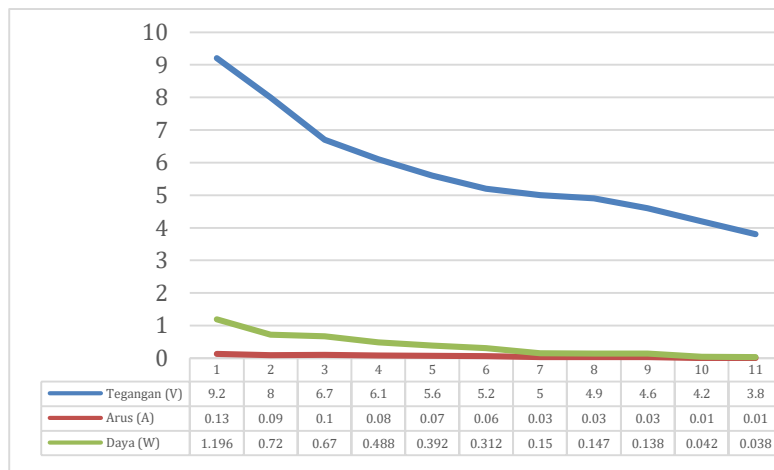
9	4,6	0,03	0,138
10	4,2	0,01	0,042
11	3,8	0,01	0,038



Gambar 10. Grafik pengujian ayunan dua bandul searah dengan sudut simpangan 60°



Gambar 11. Grafik pengujian ayunan dua bandul searah dengan sudut simpangan 50°

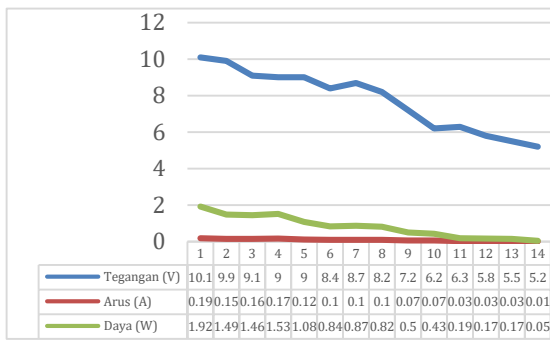


Gambar 12. Grafik pengujian ayunan dua bandul searah dengan sudut simpangan 40°

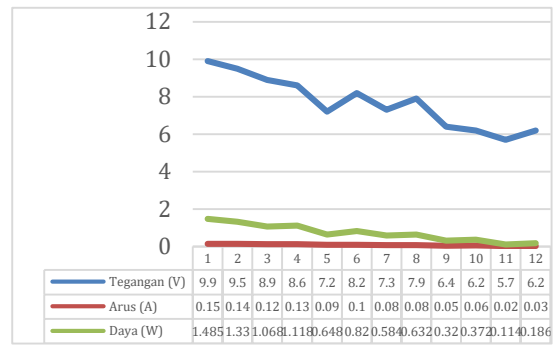
Pengujian dengan menggunakan dua bandul berlawanan arah. Dua bandul –kiri dan kanan– diberi simpangan sudut awal yang sama besar namun dalam arah yang berlawanan, kemudian keduanya dilepaskan secara serentak. Hasil pengujiannya untuk untuk simpangan sudut awal 60°, 50°, dan 40° berturut-turut diperlihatkan pada Gambar 13, 14, dan 15 serta didaftarkan di Tabel 5.

Tabel 5. Output listrik dari generator dengan penggerak dua bandul berlawanan arah

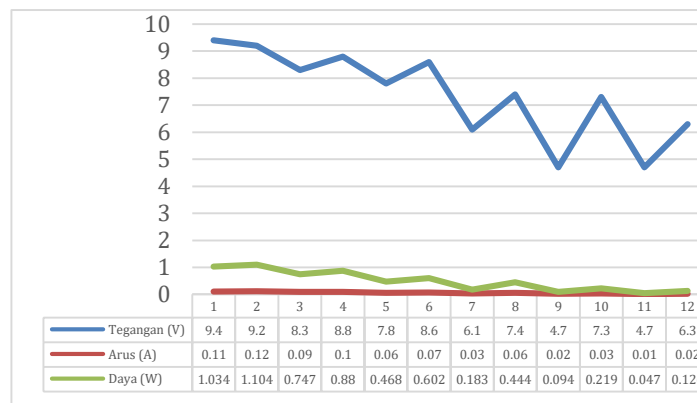
Sudut Simpangan	Jumlah Ayunan	Pengukuran daya listrik pada generator			Waktu (s)
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)	
60°	1	10,1	0,19	1,919	17,92
	2	9,9	0,15	1,485	
	3	9,1	0,16	1,456	
	4	9	0,17	1,53	
	5	9	0,12	1,08	
	6	8,4	0,1	0,84	
	7	8,7	0,1	0,87	
	8	8,2	0,1	0,82	
	9	7,2	0,07	0,504	
	10	6,2	0,07	0,434	
	11	6,3	0,03	0,189	
	12	5,8	0,03	0,174	
	13	5,5	0,03	0,165	
	14	5,2	0,01	0,052	
50°	1	9,9	0,15	1,485	16,25
	2	9,5	0,14	1,33	
	3	8,9	0,12	1,068	
	4	8,6	0,13	1,118	
	5	7,2	0,09	0,648	
	6	8,2	0,1	0,82	
	7	7,3	0,08	0,584	
	8	7,9	0,08	0,632	
	9	6,4	0,05	0,32	
	10	6,2	0,06	0,372	
	11	5,7	0,02	0,114	
	12	6,2	0,03	0,186	
40°	1	9,4	0,11	1,034	14,45
	2	9,2	0,12	1,104	
	3	8,3	0,09	0,747	
	4	8,8	0,1	0,88	
	5	7,8	0,06	0,468	
	6	8,6	0,07	0,602	
	7	6,1	0,03	0,183	
	8	7,4	0,06	0,444	
	9	4,7	0,02	0,094	
	10	7,3	0,03	0,219	
	11	4,7	0,01	0,047	
	12	6,3	0,02	0,126	



Gambar 13. Grafik pengujian ayunan dua bandul berlawanan arah dengan sudut simpangan 60°



Gambar 14. Grafik pengujian ayunan dua bandul berlawanan arah dengan sudut simpangan 50°



Gambar 15. Grafik pengujian ayunan dua bandul berlawanan arah dengan sudut simpangan 40°

Pembahasan

Torsi yang dihasilkan oleh bandul dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1). Dari perhitungan diatas diperoleh besarnya periode bandul dan momen inersia dari bandul yaitu $T = 1,55$ s dan $I_p = 2,64$ kg.m². Dari data yang didapatkan diketahui daya yang dihasilkan oleh bandul yaitu $P = 0,3423$ kW dengan $n_1 = 43,26$ rpm. Selanjutnya kita bisa menghitung panjang *v-belt* yang dibutuhkan untuk penghubung antar *pulley* pertama, yaitu sepanjang 1.235,88 mm. Dengan melihat daftar nominal *v-belt* (Loftness, 1984) maka dapat dipilih ukuran *v-belt* nomor 49 dengan panjang 1.245 mm. Setelah penghubung antar *pulley* pertama ditentukan, panjang *v-belt* yang menghubungkan *pulley* kedua pun perlu ditentukan. Panjang *v-belt* yang dibutuhkan untuk penghubung antar *pulley* kedua adalah 1.150,18 mm. Dengan melihat daftar nominal *v-belt* maka ukuran *v-belt* nomor 46 yang panjangnya 1.168 mm dapat dipilih.

Data yang didapat dari satu ayunan bandul dengan sudut simpangan sebesar 60°, sedangkan pada rancangan ini *pulley* berputar satu arah serta *pulley* berputar pada saat bandul berayun berlawanan arah jarum jam dan menuju titik sembarang. Setelah bandul berada pada titik sembarang, bandul akan berubah ayunan menjadi searah jarum jam dan menyebabkan *pulley* tidak berputar karena adanya *freewheel* yang membuat perputaran berfokus pada satu arah. Gerak isolasi menyebabkan gerak suatu benda yang selalu kembali menuju ke titik setimbangnya. Akibat adanya gesekan, simpangan sudut bandul maksimum pada ayunan berikutnya akan berkurang sehingga torsi, rpm dan daya yang dihasilkan akan berkurang dari ayunan sebelumnya.

Pada saat pengujian, pengujian yang dilakukan yaitu mengukur tegangan, arus dan daya yang dihasilkan pada generator DC 12 V dengan menghubungkan beban lampu 12 V DC 5 watt, serta melakukan pengukuran putaran yang dihasilkan oleh *pulley* dengan menggunakan Tachometer digital. Pengujian pertama dilakukan dengan mengukur rpm pada pully. Hasil dari perhitungan dijadikan sebagai acuan pada saat pengukuran rpm pada *pulley* dengan menggunakan Tachometer digital. Berdasarkan data, perhitungan rpm pada *pulley* dengan menggunakan rumus akan menghasilkan $n_2 = 108,15$ rpm dan $n_4 = 288,39$ rpm. Perbedaan hasil pengukuran rpm pada *pulley* terjadi karena adanya pembebanan rasio *pulley* serta generator yang diterima oleh bandul yang menyebabkan terjadinya penurunan rpm pada *pulley*.

Kesimpulan

Dalam penelitian ini telah dirancang dan dibuat prototipenya suatu pembangkit listrik bertenaga ayunan bandul. Bandul dihubungkan pada sebuah poros crank yang dihubungkan dengan rantai ke freewheel di mana fungsinya adalah untuk mengarahkan putaran dari poros crank menjadi satu arah. Dengan panjang lengan 0,89 m, massa bandul 10 kg, serta sudut simpangan sudut awal 60° prototipe mesin pembangkit listrik ini menghasilkan torsi sebesar 75,558 Nm, momen inersia sebesar $2,64 \text{ kg.m}^2$ dan periode gerak bandul yaitu 1,55 s –yang berarti kecepatan sudut yang dihasilkan sekitar 4,053 rad/s–. Putaran yang dihasilkan oleh bandul dengan simpangan sudut awal 60° adalah sebesar 43,26 rpm. Torsi dan daya yang dihasilkan berturut-turut adalah sebesar 75,558 Nm dan 0,343 kW. Penggunaan dua buah bandul searah menghasilkan daya paling besar serta waktu yang paling lama dibandingkan dengan komposisi bandul lainnya. Dengan sudut simpangan awal sebesar 60° pada generator 12 V DC yang dibebani lampu 5 watt, listrik tertinggi yang dihasilkan bertegangan 9,9 volt, kuat arus sebesar 0,2 ampere, dan daya sekitar 1,98 Watt. Output voltase, kuat arus, dan daya listrik terendah yang terukur sebelum bandul berhenti berturut-turut adalah sebesar 3,8 volt, 0,01 ampere, dan 0,038 Watt.

Daftar Pustaka

- Giancoli, D. C. (2014). *Fisika*. Jilid 1 Edisi 7, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Loftness, R. (1984). *Energy Handbook*. Second Edition, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Mikra (2020). Eksperimen Milenial - Bandul Fisis (Eksperimen Tidak Harus di Laboratorium). *Interdisciplinary Physics*. <https://profmikra.org/?p=4080> (diakses pada 15 Maret 2024)
- Serway, R. A. (2009). *Fisika untuk Sains dan Teknik*. Salemba Teknika, Jakarta.
- Soedjojo, P. (1986). *Azas-Azas Ilmu FISIKA*. UGM Press, Yogyakarta.
- Sonawan, H. (2014). *Perancangan Elemen Mesin*. Alfabeta, Bandung.
- Sularso, & Suga, K. (1997). *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Widarto. (2008). *Teknik Pemesinan*. Depdiknas, Jakarta.
- Young, H., & Freedman, R. (2002). *Fisika Universitas*. Jilid 1, Penerbit Erlangga, Jakarta.