

RANCANG ULANG SISTEM PENGGERAK GENERATOR TENAGA GRAVITASI SEBAGAI SUMBER PENERANGAN SKALA KECIL

Alvin Muhammad Rainhard¹, Wisnu Wijaya*²

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sangga Buana
Jl. PHH. Mustofa No. 68, Bandung 40124

ABSTRAK

Terdapat 1.160.448 rumah tangga di Indonesia belum bisa menikmati listrik. Karenanya untuk kebutuhan penerangan di malam hari harus menggunakan sumber penerangan alternatif seperti lampu minyak tanah dan lilin yang berbahaya karena berpotensi menimbulkan kebakaran, juga uap hasil pembakaran yang tidak baik bagi kesehatan. Oleh karena itu, timbul pemikiran untuk merancang alat atau sistem penerangan alternatif skala kecil dengan memanfaatkan energi gravitasi sehingga aman dan ramah lingkungan. Alat ini terdiri dari komponen berupa pemberat, tali, gearbox dan generator serta komponen kelistrikan berupa kabel dan LED. Berdasarkan hasil pengujian alat yang dimana dengan dimensi panjang 9,9 cm, lebar 10,9 cm, tinggi 18,05 cm dan berat 410 gram. Ketika diberi massa pemberat 2 kg, telah mampu menghasilkan energi listrik sebesar 0,060 watt, durasi nyala LED selama 90,6 detik pada ketinggian jatuh 1,85 meter. Berdasarkan hasil yang diperoleh lalu ditambah beberapa pengembangan lebih lanjut, maka alat ini dapat menjadi sumber penerangan alternatif skala kecil baru.

Keywords: listrik, gravitasi, energi, gearbox

ABSTRAK

[REDESIGN OF GRAVITY GENERATOR SYSTEM AS A SMALL SCALE LIGHTING SOURCE] There are 1,160,448 households in Indonesia that have not been able to enjoy electricity. Therefore, for lighting needs at night, alternative sources of lighting such as kerosene lamps and candles must be used which are dangerous because they have the potential to cause fire, as well as steam from combustion which is not good for health. Therefore, there was an idea to design a small-scale alternative lighting tool or system by utilizing gravitational energy so that it is safe and environmentally friendly. This tool consists of components in the form of ballast, rope, gearbox and generator as well as electrical components in the form of cables and LEDs. Based on the results of testing the tool which has dimensions of 9.9 cm long, 10.9 cm wide, 18.05 cm high and 410 grams of weight. When given a weight of 2 kg, it is able to generate electrical energy of 0.060 watts, the duration of the LED light is 90.6 seconds at a fall of 1.85 meters. Based on the results obtained and some further developments, this tool can be a new small-scale alternative lighting source..

Keywords: electricity, gravitation, energy, gearbox

1. Pendahuluan

Pada tahun 2018, sebanyak 507 desa dengan lebih kurang 1.160.448 rumah tangga di Indonesia belum bisa menikmati listrik (Ketenagalistrikan, 2019). Selain itu, pemadaman listrik kadang terjadi juga di daerah yang sudah terhubung dengan listrik, pemadaman listrik tersebut dilatarbelakangi oleh berbagai faktor, seperti bencana alam dan perawatan jaringan listrik (Brajamusthi et al., 2016). Karenanya, kebutuhan dasar seperti penerangan di malam hari harus

menggunakan alternatif lain seperti lilin dan lampu minyak tanah (Natu et al., 2015).

Penerangan alternatif menggunakan lilin dan lampu minyak tanah ketika dilakukan di dalam rumah berpotensi menyebabkan kebakaran dan uap hasil pembakaran juga tidak baik bagi kesehatan bila terhirup (Kee et al., 2018). Selain itu, harga minyak tanah di Indonesia juga relatif mahal, berada pada kisaran Rp. 11.220 s/d Rp. 11.700 untuk setiap liternya, tergantung daerah penjualan (Pertamina, 2020).

Masalah tersebut mungkin dapat teratasi di daerah-daerah yang sudah terhubung dengan listrik dengan menggunakan lampu senter atau lampu darurat yang menggunakan baterai sebagai sumber dayanya, namun untuk daerah-daerah yang belum terhubung

*Penulis Korespondensi.
E-mail: nusiwis@gmail.com

dengan listrik salah satu upaya yang dapat dilakukan yaitu dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan, tetapi energi-energi tersebut memiliki keterbatasan dalam pemanfaatannya karena terpengaruh oleh kondisi lingkungannya (Talib et al., 2016).

Oleh karena itu, timbullah pemikiran untuk merancang sebuah sistem yang tidak terpengaruh oleh kondisi lingkungannya dan dapat digunakan dimana saja, dimana sistem ini memanfaatkan tenaga manusia yang disimpan dalam bentuk energi potensial gravitasi pada sebuah massa pemberat.

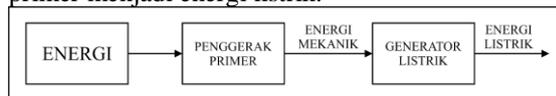
Adapun masalah yang akan muncul dalam perancangan ini, yaitu bagaimana merancang sebuah sistem yang dapat menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan energi potensial gravitasi, selain itu alat yang dirancang juga harus mudah digunakan, mudah dibawa, dan tidak memerlukan tempat yang besar dalam pengoperasiannya, dan terakhir bagaimana menentukan hubungan parameter sistem dengan energi yang dihasilkan.

Dari permasalahan tersebut, maka dalam perancangan ini diberi pembatasan masalah, yaitu sistem hanya dapat membuat satu buah lampu LED menyala, sistem menggunakan generator berupa motor DC, sistem menggunakan komponen *gearbox* standar berbahan termoplastik, dan dalam perancangan ini tidak membandingkan hasil perancangan dengan perancangan yang telah ada. Sehingga tujuan dari perancangan ini adalah merancang sebuah mekanisme sistem yang memanfaatkan energi potensial gravitasi bumi untuk menghasilkan energi listrik serta memperlihatkan hubungan parameter sistem pendukung dengan energi yang dihasilkan. Sehingga sistem ini dapat menjadi sumber penerangan alternatif dan ramah lingkungan (J et al., 2017).

TINJAUAN PUSTAKA

Proses Pembangkitan Listrik

Pembangkitan energi listrik sebagian besar dilakukan dengan cara memutar generator oleh energi mekanis sehingga dapat menghasilkan energi listrik. Dengan demikian mesin penggerak generator sesungguhnya melakukan konversi energi primer menjadi energi mekanis penggerak generator untuk kemudian dikonversi menjadi energi listrik oleh generator. Berikut adalah bagan alir konversi energi primer menjadi energi listrik.



Gambar 1. Diagram alir proses pembangkitan listrik

1. Energi Potensial Gravitasi

Gravitasi adalah suatu gaya magnet atau bisa disebut gaya tarik yang berasal dari inti bumi. Energi potensial gravitasi adalah energi yang dimiliki suatu benda karena kedudukannya yang bergantung kepada percepatan gravitasi. Energi potensial gravitasi dari suatu objek adalah:

$$E_p = m \times g \times h \dots\dots\dots (1)$$

E_p adalah energi potensial gravitasi (J), m adalah massa (kg), g adalah percepatan gravitasi (m/s^2) dan h adalah ketinggian objek dari titik referensi. Daya dari objek yang turun atau jatuh sebagai akibat dari energi potensial gravitasi adalah:

$$P = \frac{E_p}{\Delta t} \dots\dots\dots (2)$$

P adalah daya suatu objek (W) dan Δt adalah durasi objek ketika turun atau jatuh (s).

2. Gearbox atau Transmisi

Gearbox atau transmisi adalah dua buah roda gigi atau lebih yang disusun dan bekerja bersama-sama dan akan menghasilkan tenaga mekanis dan mengirimkan torsi melalui perputarannya. *Gearbox* atau transmisi berfungsi untuk mengubah kecepatan pada sumbu rotasi, menaikkan atau menurunkan torsi, mengubah arah putaran dan juga dapat mengubah gerak rotasi menjadi gerak translasi.

Roda gigi adalah suatu elemen pada mesin yang berfungsi untuk mentransmisikan daya yang besar dan putaran yang tepat, dibuat bergerigi pada kelilingnya guna meneruskan daya oleh gigi-gigi dua roda yang saling berkait (Sularso & Suga, 2008). Nilai rasio atau perbandingan roda gigi adalah:

$$i = \frac{z_2}{z_1} \dots\dots\dots (3)$$

i adalah rasio roda gigi, z_1 adalah jumlah gigi roda gigi penggerak, dan z_2 adalah jumlah gigi roda gigi yang digerakkan. Nilai torsi dari suatu roda gigi adalah:

$$\tau = F \times r \dots\dots\dots (4)$$

τ adalah torsi (N.m), F adalah gaya (N) dan r adalah jari-jari roda gigi (m). Sehingga hubungan persamaan rasio roda gigi dengan torsi adalah:

$$\tau_2 = i \times \tau_1 \dots\dots\dots (5)$$

τ_2 adalah nilai torsi pada roda gigi yang digerakkan dan τ_1 adalah nilai torsi pada roda gigi penggerak. Sedangkan hubungan persamaan rasio roda gigi dengan kecepatan putaran roda gigi adalah:

$$n_2 = \frac{n_1}{i} \dots\dots\dots (6)$$

n_2 adalah kecepatan putaran roda gigi yang digerakkan (rpm) dan n_1 adalah kecepatan putaran roda gigi penggerak (rpm).

Tegangan Izin

Supaya rangka yang digunakan aman, maka besarnya tegangan yang terjadi harus lebih kecil atau sama dengan tegangan izinnnya (Nur & Suyuti, 2017). Tegangan izin dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{\sigma_u}{sf} < \sigma_y \dots\dots\dots (7)$$

σ adalah tegangan izin (N/mm^2), σ_u adalah tegangan *ultimate* (N/mm^2), σ_y adalah tegangan *yield* (N/mm^2), dan sf adalah faktor keamanan.

3. Faktor Keamanan (safety factor)

Dalam buku *Machine Design Project* (Vidosic, 2007), faktor keamanan dinyatakan sebagai berikut:

- $sf = 1,25-1,5$ untuk bahan yang sesuai dengan penggunaan pada kondisi terkontrol dan tegangan kerja dapat ditentukan dengan pasti;
- $sf = 1,5-2,0$ untuk bahan yang sudah diketahui dan pada kondisi lingkungan beban dan tegangan yang tetap dan dapat ditentukan dengan mudah;
- $sf = 2,0-2,5$ untuk beban yang beroperasi secara rata-rata dengan batasan beban yang diketahui;
- $sf = 2,5-3,0$ untuk bahan yang diketahui tanpa mengalami tes, pada kondisi ini beban dan tegangan rata-rata;
- $sf = 3,0-4,5$ untuk bahan yang sudah diketahui, beban dan tegangan yang tidak pasti dan kondisi lingkungan yang juga tidak pasti;
- Beban berulang, menggunakan nomor 1-5;
- Beban kejut, menggunakan nomor 3-5;
- Bahan getas, menggunakan nomor 2-5 dan dikalikan dengan 2.

4. Tegangan Tarik

Tegangan tarik merupakan tegangan yang diakibatkan oleh bekerjanya gaya tarik aksial pada benda di suatu bidang yang terletak tegak lurus terhadap sumbunya, sehingga benda cenderung meregang atau bertambah panjang. Persamaan umum tegangan tarik, adalah sebagai berikut:

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (8)$$

σ_t adalah tegangan tarik (N/mm²), F adalah gaya (N), dan A adalah luas penampang (mm²).

5. Tegangan Puntir

Tegangan puntir merupakan tegangan yang diakibatkan oleh bekerjanya gaya putar pada benda. Persamaan umum tegangan puntir, adalah sebagai berikut:

$$\tau_p = \frac{M_p}{W_p} = \frac{F \times r}{I_p} \dots\dots\dots (9)$$

τ_p adalah tegangan puntir (N/mm²), M_p adalah momen puntir (N.mm), W_p adalah momen tahanan puntir (mm³), F adalah gaya (N), r adalah jarak (m), I_p adalah inersia polar (mm⁴), dan y adalah jarak sumbu (mm).

6. Tegangan Lentur

Tegangan lentur merupakan tegangan yang diakibatkan oleh bekerjanya momen *bending* pada benda, sehingga pelenturan benda di sepanjang sumbunya menyebabkan sisi bagian atas tertarik karena bertambah panjang dan sisi bagian bawah tertekan karena memendek. Persamaan umum tegangan lentur, adalah:

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} = \frac{F \times L}{I_x} \dots\dots\dots (10)$$

σ_b adalah tegangan lentur (N/mm²), M_b adalah momen *bending* (N.mm), W_b adalah momen tahanan *bending* (mm³), F adalah gaya (N), L adalah panjang (mm), I_x adalah momen inersia penampang (mm⁴), dan y adalah jarak sumbu (mm).

7. Mengubah Motor DC Menjadi Generator DC

Secara prinsip mengubah sebuah mesin DC dari motor menjadi generator ataupun sebaliknya dapat dilakukan dengan sangat sederhana. Yakni dengan membalik arah konversi energi yang terjadi. Motor listrik DC dapat diubah menjadi generator dengan jalan memutus sumber tegangan masukkan motor dan memberikan putaran terbalik pada poros motor tersebut. Jika arah putaran poros tidak dibalik, maka arah arus listrik yang terbangkitkan akan berlawanan dengan arah arus listrik asli motor listrik (kutub positif dan negatif kabel motor akan terbalik). Daya listrik yang dihasilkan oleh generator dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu: tegangan dan arus yang dihasilkan. Hubungan antara daya listrik, tegangan, dan arus yang dihasilkan adalah: $P_g = V \times I \dots\dots\dots (11)$
 P_g adalah daya listrik (W), V adalah tegangan listrik (V), dan I adalah arus listrik (A).

8. Lampu LED

Lampu LED atau singkatan dari *Light Emitting Diode* adalah salah satu komponen elektronika yang terbuat dari bahan semi konduktor jenis diode yang mampu mengeluarkan cahaya. LED akan menyala bila ada arus listrik mengalir dari anode ke katode. Pemasangan kutub LED tidak boleh terbalik karena apabila terbalik kutubnya maka LED tersebut tidak akan menyala. LED memiliki karakteristik berbeda-beda menurut warna yang dihasilkan. Semakin tinggi arus yang mengalir pada LED maka semakin terang pula cahaya yang dihasilkan, namun perlu diperhatikan bahwa besarnya arus yang diperbolehkan menurut karakter warna yang dihasilkan. Bila arus yang mengalir lebih maka LED akan terbakar. Tegangan kerja/jatuh tegangan pada LED 5 mm menurut warna yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel 1.

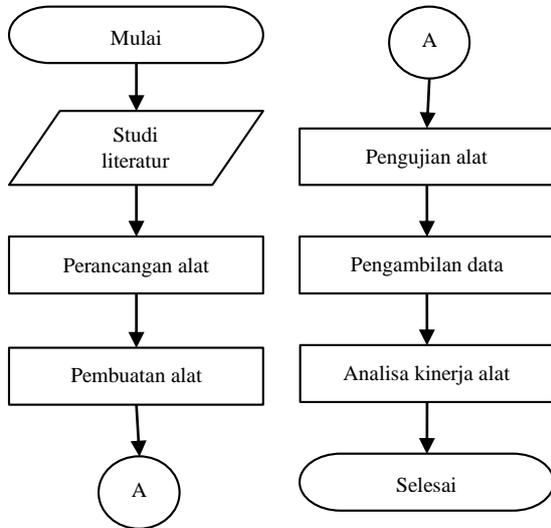
Tabel 1. Klasifikasi tegangan dan arus lampu LED 5mm

Warna	Tegangan (V)	Arus (mA)
Putih	3,1	30
Merah	2,1	30
Biru	3,4	30
Hijau	3,4	25
Kuning	2,1	30

METODE

1. Metodologi Perancangan

Tahapan-tahapan dalam pembuatan alat konversi energi potensial gravitasi menjadi energi listrik sebagai sumber penerangan skala kecil dapat dilihat pada Gambar berikut.

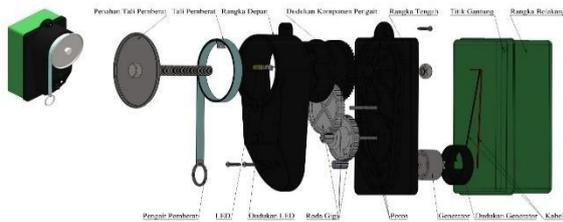


Gambar 2. Diagram alir perancangan

2. Desain Alat

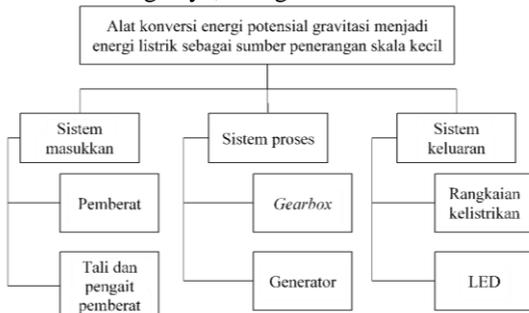
Desain alat konversi energi potensial gravitasi menjadi energi listrik sebagai sumber penerangan skala kecil dapat dilihat pada gambar 3 berikut.

Gambar 3. Desain alat



3. Perancangan dan Pembuatan Alat

Untuk memudahkan dalam proses pengerjaannya, maka komponen dikelompokkan berdasarkan fungsinya, sebagai berikut:



Gambar 4. Kelompok komponen berdasarkan fungsi Sistem Masukan

a. Pemberat

Pada perancangan dan pembuatan komponen pemberat ini menggunakan botol-botol yang diisi air dengan massa yang bervariasi. Pemilihan pemberat ini berdasarkan pada kemudahan dalam proses pembuatan serta kemudahan bila sewaktu-waktu dibutuhkan penyesuaian massa. Pemberat ini berfungsi sebagai masukkan sistem sehingga *gearbox* dapat berputar yang diakibatkan karena adanya energi potensial gravitasi.

b. Tali dan Pengait Pemberat

Pada perancangan dan pembuatan pengait pemberat ini menggunakan meteran kain 150 cm yang dimodifikasi. Pemilihan ini didasarkan pada kemudahan proses modifikasi serta kekuatannya dalam menahan pemberat. Modifikasi yang dilakukan adalah dengan menambahkan baut di ujung atasnya yang dimaksudkan sebagai pengunci kepada dudukan dan menambahkan ring gantungan kunci di ujung bawahnya yang dimaksudkan sebagai pengait pemberat.

3.1 Sistem Proses

a. Gearbox

Pada perancangan dan pembuatan *gearbox* ini menggunakan *gearbox* yang dimodifikasi dari *gearbox RS-550 electric car*. Pemilihan model *gearbox* ini didasarkan pada kemudahan dalam proses modifikasi. Modifikasi yang dilakukan adalah dengan mengubah dudukan generator dan dibuat pula rangka tambahan menggunakan kotak makanan plastik yang dimaksudkan untuk memudahkan dalam pemasangan motor DC, sistem kelistrikan, pengait beban, juga titik gantung alat ketika dioperasikan. *Gearbox* ini memiliki spesifikasi roda gigi majemuk 4 tingkat dengan 6 buah roda gigi.

b. Generator

Pada pemilihan generator ini menggunakan Motor DC model RF-500TB 14415. Motor DC yang digunakan memiliki spesifikasi tegangan hingga 5 V dan arus hingga 0.026 A pada putaran 3100 rpm. Spesifikasi ini dirasa cukup untuk mengubah energi kinetik rotasi dari *gearbox* menjadi energi listrik untuk menyalakan lampu LED.

3.2 Sistem Keluaran

a. Rangkaian Kelistrikan

Pada pemilihan rangkaian kelistrikan ini menggunakan kabel JST diameter 1 mm dan panjang 20 mm juga menggunakan *connector XH 2.54-2 pin female*. Pemilihan jenis ini dikarenakan kemudahan dalam pemasangan LED, dengan menghubungkan terminal anode dan katode LED pada lubang *connector*.

b. Lampu LED

Pada pemilihan lampu LED ini menggunakan 1 buah lampu LED 5mm berwarna putih. Pemilihan lampu LED ini dikarenakan konsumsi arus yang kecil dapat menghasilkan intensitas keterangan yang tinggi serta sesuai dengan keluaran yang dihasilkan oleh

generator sehingga dapat langsung dihubungkan tanpa memerlukan rangkaian listrik tambahan. Selain itu, lampu LED juga dapat menjadi penahan putaran generator, ketika tegangan yang dihasilkan putaran generator sudah mencukupi kebutuhan tegangan lampu LED, maka putaran generator akan konstan sehingga dapat memperpanjang durasi waktu jatuh pemberat. lampu LED ini digunakan sebagai keluaran akhir alat yang akan menghasilkan cahaya dengan tingkat kecerahan berdasarkan variasi pemberat masukan yang diberikan pada sistem.

3.3 Cara Kerja Alat

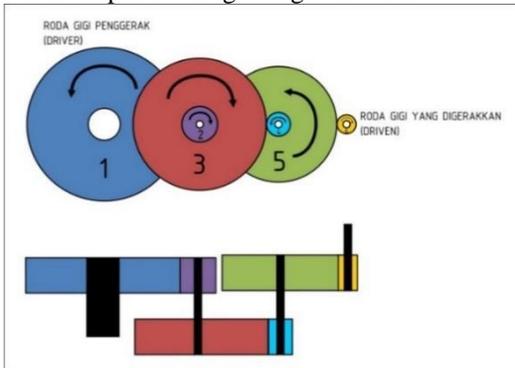
Hal pertama yang dilakukan ialah memposisikan secara manual alat melalui titik gantung pada ketinggian tertentu. Setelah itu posisikan secara manual pemberat pada pengait

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Data Perhitungan Teoretis

a. Rasio Roda Gigi

Roda gigi ke-6 bergerak lebih cepat namun memiliki torsi yang lebih rendah, sedangkan roda gigi ke-1 berputar lebih rendah namun memiliki torsi yang lebih tinggi. Percepatan roda gigi atau rasio roda gigi yang digunakan dapat dihitung sebagai berikut:



Gambar 5. Susunan roda gigi gearbox RS-550

Tabel 2. Data untuk perhitungan rasio roda gigi

Data	Jumlah gigi (z)	Diameter (d)
Roda gigi ke-1	51	65 mm
Roda gigi ke-2	10	15 mm
Roda gigi ke-3	54	56 mm
Roda gigi ke-4	8	10 mm
Roda gigi ke-5	67	49 mm
Roda gigi ke-6	10	8 mm

Dikarenakan gearbox yang digunakan memiliki spesifikasi roda gigi pemindah daya tipe majemuk maka perhitungan rasio roda gigi menggunakan persamaan (3), sebagai berikut:

$$i = \frac{z_2}{z_1} \times \frac{z_4}{z_3} \times \frac{z_6}{z_5}$$

$$i = \frac{(10 \times 8 \times 10)}{(51 \times 54 \times 67)}$$

$$i = \frac{800}{184.518}$$

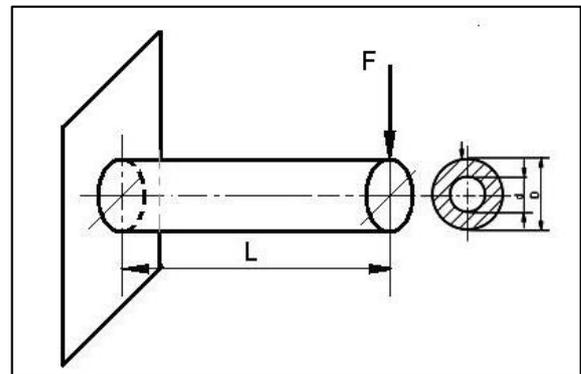
$$i = \frac{1}{230,6475}$$

$$i = 0,00434$$

Dengan perhitungan di atas maka percepatan roda gigi atau rasio roda gigi adalah 1:230 putaran.

b. Massa Pemberat Maksimal

Pada perhitungan teoretis ini difokuskan pada bagian rangka yang terkena gaya maksimum dari pemberat. Diketahui bagian rangka yang terkena gaya maksimum dari pemberat adalah pada poros tumpuan poros roda gigi ke-1 pada rangka tengah, dapat dilihat pada gambar (6) berikut:



Gambar 6. Gaya yang terjadi pada poros

Diketahui poros tersebut memiliki penampang lingkaran hollow dengan diameter dalam 10 mm, diameter luar 13,5 mm, dan panjang 26 mm. Berbahan High Density Polyethylene (HDPE) dengan tegangan ultimate 30,5 N/mm² dan tegangan yield 23 N/mm², faktor keamanan yang digunakan adalah 4. poros tersebut menerima beban lentur murni, maka untuk mencari beban maksimal yang diizinkan pada poros tersebut dapat menggunakan persamaan (7) untuk mencari tegangan izin.

$$\underline{\sigma} = \frac{\sigma_u}{sf} < \sigma_y$$

$$\underline{\sigma} = \frac{30,5 \frac{N}{mm^2}}{4} < 23 \frac{N}{mm^2}$$

$$\underline{\sigma} = 7,625 \frac{N}{mm^2} < 23 \frac{N}{mm^2}$$

Berikutnya untuk mencari gaya maksimal yang dapat dikenakan pada alat dapat menggunakan persamaan (10).

$$\underline{\sigma} = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\underline{\sigma} = \frac{F \times L}{\left(\frac{I_x}{y}\right)}$$

$$\underline{\sigma} = \frac{F \times L}{\left(\frac{\pi \times (D^4 - d^4)}{64} \frac{D}{2}\right)}$$

$$\underline{\sigma} = \frac{F \times L}{\left(\frac{\pi \times (D^4 - d^4)}{32 \times D}\right)}$$

$$F = \frac{\underline{\sigma} \times \left(\frac{\pi \times (D^4 - d^4)}{32 \times D}\right)}{L}$$

$$F = \frac{7,625 \frac{N}{mm^2} \times \left(\frac{3,14 \times (13,5 mm^4 - 10 mm^4)}{32 \times 13,5 mm}\right)}{26 mm}$$

$$F = \frac{7,625 \frac{N}{mm^2} \times 168,82 mm^3}{26 mm}$$

$$F = 49,5 N$$

$$F = 4,95 kg$$

Maka berdasarkan perhitungan teoretis, beban maksimal yang dapat diberikan pada alat adalah 4,95 kg.

c. Tegangan Pada Tali

Pada perhitungan ini dilakukan pada bagian tali pemberat yang terkena gaya dari pemberat, dapat dilihat pada gambar (7). Diketahui tali tersebut memiliki penampang persegi panjang dengan panjang 12 mm dan tinggi 0,3 mm. Berbahan *Polyvinyl Chloride* (PVC) dengan tegangan *ultimate* 80 N/mm² dan tegangan *yield* 57 N/mm², faktor keamanan yang digunakan adalah 4. Tali tersebut menerima gaya tarik aksial sehingga terjadi tegangan tarik, contoh perhitungan diambil pada massa pemberat 2 kg, maka untuk mengetahui tegangan izin dapat menggunakan persamaan (7).

$$\underline{\sigma} = \frac{\sigma_u}{sf} < \sigma_y$$

$$\underline{\sigma} = \frac{80 \frac{N}{mm^2}}{4} < 57 \frac{N}{mm^2}$$

$$\underline{\sigma} = 20 \frac{N}{mm^2} < 57 \frac{N}{mm^2}$$

Berikutnya untuk mencari tegangan tarik pada tali dapat menggunakan persamaan (8).

$$\sigma_t = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_t = \frac{m \times g}{P \times t}$$

$$\sigma_t = \frac{2 kg \times 9,8 \frac{m}{s^2}}{12 mm \times 0,3 mm}$$

$$\sigma_t = \frac{19,6 N}{3,6 mm^2}$$

$$\sigma_t = \frac{5,44 N}{mm^2}$$

Berdasarkan contoh perhitungan di atas maka data tegangan tarik pada tali dapat dilihat pada tabel (3), sebagai berikut:

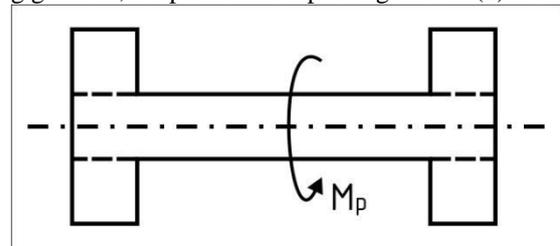
Tabel 3. Data perubahan massa pemberat terhadap nilai tegangan tarik pada tali

No	Massa pemberat (kg)	Tegangan tarik pada tali (N/mm ²)
1	0,5	1,36
2	1,0	2,72
3	1,5	4,08
4	2,0	5,44
5	2,5	6,80
6	3,0	8,17
7	3,5	9,53
8	4,0	10,89

Dari data pada tabel (3) dapat dilihat bahwa nilai tegangan tarik pada tali ketika massa pemberat 4 kg tidak melebihi tegangan izin, sehingga tegangan pada tali aman.

d. Tegangan Pada Poros

Pada perhitungan ini dilakukan pada poros yang terkena momen puntir maksimal, yaitu pada poros roda gigi ke-1, dapat dilihat pada gambar (8) berikut:



Gambar 7. Momen puntir yang terjadi pada poros

Diketahui poros tersebut memiliki penampang lingkaran hollow dengan diameter dalam 13,5 mm dan diameter luar 17,3 mm. Berbahan High Density Polyethylene (HDPE) dengan tegangan *ultimate* 30,5 N/mm² dan tegangan *yield* 23 N/mm², jari-jari roda gigi adalah 31,5 mm dan faktor keamanan yang digunakan adalah 4. Poros tersebut menerima momen puntir, contoh perhitungan diambil pada massa pemberat 2 kg,

maka untuk mengetahui tegangan izin dapat menggunakan persamaan (7).

$$\underline{\sigma} = \frac{\sigma_u}{sf} < \sigma_y$$

$$\underline{\sigma} = \frac{30,5 \frac{N}{mm^2}}{4} < 23 \frac{N}{mm^2}$$

$$\underline{\sigma} = 7,625 \frac{N}{mm^2} < 23 \frac{N}{mm^2}$$

Berikutnya untuk mencari tegangan puntir pada poros dapat menggunakan persamaan (9).

$$\tau_p = \frac{M_p}{W_p}$$

$$\tau_p = \frac{F \times r}{\left(\frac{I_p}{y}\right)}$$

$$\tau_p = \frac{F \times r}{\left(\frac{\pi \times (D^4 - d^4)}{\frac{32}{D}}\right)}$$

$$\tau_p = \frac{(m \times a) \times r}{\left(\frac{\pi \times (D^4 - d^4)}{16 \times D}\right)}$$

$$\tau_p = \frac{(2 \text{ kg} \times 9,8 \frac{m}{s^2}) \times 31,5 \text{ mm}}{\left(\frac{3,14 \times (17,3 \text{ mm}^4 - 13,5 \text{ mm}^4)}{16 \times 17,3 \text{ mm}}\right)}$$

$$\tau_p = \frac{19,6 \text{ N} \times 31,5 \text{ mm}}{639,66 \text{ mm}^3}$$

$$\tau_p = 0,96 \frac{N}{mm^2}$$

Berdasarkan contoh perhitungan di atas maka data tegangan puntir pada poros dapat dilihat pada tabel (4), sebagai berikut:

Tabel 4. Data perubahan massa pemberat terhadap nilai tegangan puntir pada poros

No	Massa pemberat (kg)	Tegangan puntir pada poros (N/mm ²)
1	0,5	0,24
2	1,0	0,48
3	1,5	0,72
4	2,0	0,96
5	2,5	1,20
6	3,0	1,44
7	3,5	1,69
8	4,0	1,93

Dari data pada tabel (4) dapat dilihat bahwa nilai tegangan puntir pada poros ketika massa pemberat 4 kg tidak melebihi tegangan izin, sehingga tegangan puntir pada poros aman.

2. Data Pengamatan

a. Kecepatan Putaran Roda Gigi Ke-1

Dari data pada tabel (5) dapat dilihat bahwa sistem sudah dapat mulai berputar dengan massa pemberat 1 kg, dapat dilihat pula perubahan kecepatan, dimana semakin besar massa pemberat akan semakin cepat putaran yang terjadi.

Tabel 5. Data pengamatan perubahan massa pemberat terhadap kecepatan putaran roda gigi ke-1

No	Massa pemberat (kg)	Kecepatan putaran (rpm)
1	0,5	0
2	1,0	3,0
3	1,5	3,8
4	2,0	4,5
5	2,5	5,2
6	3,0	5,6
7	3,5	6,3
8	4,0	6,8

b. Waktu Jatuh Pemberat

Dari data pada tabel (6) dapat dilihat bahwa dengan ketinggian 1,85 m dari titik referensi, waktu jatuh terlama adalah 143,4 detik atau 2,39 menit dengan massa pemberat 1 kg. Dapat dilihat pula perubahan waktu jatuh, dimana dengan semakin besarnya massa pemberat makan akan semakin cepat pula waktu jatuh.

Tabel 6. Data pengamatan perubahan massa pemberat terhadap waktu jatuh pemberat pada ketinggian 1,85 meter

No	Massa pemberat (kg)	Waktu jatuh (s)
1	0,5	0
2	1,0	143,4
3	1,5	132
4	2,0	90,6
5	2,5	81,6
6	3,0	75,6
7	3,5	69
8	4,0	63,6

c. Tegangan dan Arus Listrik Keluaran

Dari data pada tabel (7) dapat dilihat bahwa pada pembebanan 1 lampu LED tegangan terbesar adalah 3,10 V dan arus 0,03 A atau 30 mA pada massa pemberat 4 kg. Dapat dilihat pula perubahan tegangan dan arus listrik keluaran, dimana dengan semakin besarnya massa pemberat makan akan semakin besar pula tegangan dan arus listrik keluaran, tetapi tetap tidak melebihi kebutuhan tegangan dan arus lampu LED sesuai pada tabel (1), hal ini membuktikan bahwa lampu

LED juga berfungsi sebagai penahan putaran agar tetap konstan ketika tegangan dan arus yang dibutuhkan sudah terpenuhi.

Tabel 7. Data pengamatan perubahan massa pemberat terhadap tegangan dan arus listrik keluaran pada pembebanan 1 lampu LED

No.	Massa pemberat (kg)	Tegangan (V)	Arus (A)	Respons LED
1	0,5	0	0	Mati
2	1,0	2,86	0,01	Redup
3	1,5	2,92	0,01	Redup
4	2,0	3,00	0,02	Terang
5	2,5	3,05	0,02	Terang
6	3,0	3,06	0,02	Terang
7	3,5	3,08	0,03	Terang
8	4,0	3,10	0,03	Terang

d. Analisis

1. Nilai Torsi Roda Gigi Ke-1 dan Generator

Dari data pada tabel (8) dapat dilihat bahwa nilai torsi pada roda gigi ke-1 dan generator berbanding lurus dengan massa pemberat, dari perhitungan ini didapat nilai torsi terbesar adalah 1,23 N.m pada roda gigi ke-1 dan 0,0053 N.m pada generator. Karena lampu LED menyala pada massa komponen pemberat 1 kg, maka nilai torsi minimal generator adalah 0,0013 N.m.

Tabel 8. Data perubahan massa pemberat terhadap nilai torsi roda gigi ke-1 dan generator

No.	Massa pemberat (kg)	Torsi roda gigi ke-1 (N.m)	Torsi generator (N.m)
1	0,5	0,15	0,0007
2	1,0	0,30	0,0013
3	1,5	0,46	0,0020
4	2,0	0,62	0,0027
5	2,5	0,77	0,0033
6	3,0	0,93	0,0040
7	3,5	1,08	0,0047
8	4,0	1,23	0,0053

2. Energi Potensial Gravitasi dan Daya Potensial Masukkan

Dari data pada tabel (9) dapat dilihat bahwa nilai energi potensial dan daya potensial berbanding lurus dengan massa pemberat, dari perhitungan ini didapat nilai energi potensial dan daya potensial terbesar terjadi pada massa pemberat 4 kg.

Tabel 9. Data perubahan massa pemberat terhadap energi potensial gravitasi dan daya potensial masukkan

No.	Massa pemberat (kg)	Energi potensial (J)	Daya potensial (W)
1	0,5	9,06	0
2	1,0	18,13	0,126
3	1,5	27,19	0,206
4	2,0	36,26	0,400
5	2,5	45,32	0,555
6	3,0	54,39	0,719
7	3,5	63,45	0,920
8	4,0	72,52	1,140

3. Daya Listrik Keluaran Generator

Dari data pada tabel (10) dapat dilihat bahwa nilai daya listrik keluaran generator terbesar terjadi pada massa pemberat 4 kg sebesar 0,093 watt.

Tabel 10. Data perubahan massa pemberat terhadap daya listrik keluaran generator

No.	Massa pemberat (kg)	Daya keluaran generator (W)
1	0,5	0
2	1,0	0,029
3	1,5	0,029
4	2,0	0,060
5	2,5	0,061
6	3,0	0,061
7	3,5	0,092
8	4,0	0,093

Detail teknis alat dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 11. Detail teknis alat

Berat	410 gram
Dimensi	9,9 x 10,9 x 18,05 cm
Material	Plastik HDPE
Jenis lampu	LED 5 mm
Jenis gearbox	RS-550 Electric Car
Jenis generator	Motor DC RF-450TB-14415
Massa pemberat minimal	0,5 kg
Massa pemberat maksimal	4,0 kg
Daya keluaran (pada pemberat 2 kg)	0,06 W
Durasi nyala lampu (pada pemberat 2 kg dan ketinggian 1,85 m)	1,5 menit

Rancang Ulang Sistem Penggerak Generator Tenaga Gravitasi sebagai Sumber Penerangan Skala Kecil

KESIMPULAN

Dari hasil perancangan, pengamatan, dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem penggerak ini terdiri dari komponen pengait pemberat, *gearbox*, generator, dan lampu LED mampu membangkitkan daya untuk menghidupkan satu buah lampu LED dengan menggunakan massa pemberat minimal 1 kg dengan respons lampu LED redup, dibutuhkan massa pemberat minimal 2 kg untuk mendapatkan respons lampu LED terang.
2. Alat ini memberikan daya listrik keluaran untuk respons lampu LED terang sebesar 0,060 watt untuk daya potensial masukan 0,400 watt pada massa pemberat 2 kg.
3. Alat ini memiliki waktu jatuh tertinggi 143,4 detik pada massa pemberat 2 kg untuk ketinggian 1,85 meter dan waktu jatuh terendah 63,6 detik pada massa pemberat 4 kg untuk ketinggian yang sama.
4. Selama pengujian, alat mampu bertahan dan bekerja seperti keadaan awal tanpa ada kerusakan, artinya alat ini dapat diandalkan.

Daftar Pustaka

Brajamusthi, A., Hantoro, D. A. D., Wirahadisukma, I., & Wandono, M. D. (2016). *GRAVITABLE: Rancang Bangun Alat Konversi Energi Potensial Gravitasi Menjadi Energi Listrik Sebagai Alternatif Sumber Penerangan Skala Kecil. December 2016*, 1–11.

- J, K. G. R., Chandrasagar, L., & Manjunath, H. S. (2017). Gravity Powered Light using Compound Gear System. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 04(11), 809–813.
- Kee, C. M., Ramli, N. B., Wei, F. K., Abdo, M. A., Aik, N. L., Yang, K. J., Bing, T. Y., & Tze, E. C. Z. (2018). The Performance of Newly Designed Economic Gravity Light. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 9(7), 1030–1034.
- Ketenagalistrikan, S. J. (2019). *Statistik Ketenagalistrikan Tahun 2018*.
- Natu, P., Nadkar, S., & Badgujar, A. (2015). Generation of Electricity Using Gravity. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 6(7), 79–84.
- Nur, R., & Suyuti, M. A. (2017). *Perancangan Mesin-Mesin Industri* (Ed. 1). Deepublish.
- Pertamina. (2020). *Daftar Harga BBK Tmt 01 Februari 2020*.
- Sularso, & Suga, K. (2008). *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin* (Cet. 12). PT Pradnya Pramita.
- Talib, A. R., S, I. N. W., & Natsir, A. (2016). Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Gravitasi Bumi. *Dialektika*, 3(1), 11–22.
- Vidosic, J. P. (2007). *Machine Design Projects*. Ronald Press Company.