

RANCANG BANGUN PROTOTYPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GRAVITASI BUMI Design A Prototype Of Earth's Gravitational Power Plant

Ahmad Rosidin Talib¹, I. Nyoman Wahyu S.2¹, Abdul Natsir³¹

ABSTRAK

Kebutuhan energi di Indonesia terus meningkat disebabkan oleh pertambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi dan pola konsumsi energi yang senantiasa semakin tinggi. Keterbatasan persediaan dari bahan material fosil dalam waktu mendatang menjadi pemicu untuk memanfaatkan energi yang ramah lingkungan yaitu energi yang bersumber dari energi baru terbarukan (EBT) seperti energi air, surya, angin, panas bumi, biomass. Namun dalam pemanfaatannya energi baru terbarukan tersebut, memiliki keterbatasan terhadap penggunaannya yaitu pengaruh terhadap kondisi alam. Oleh karena itu, timbul pemikiran untuk merancang sebuah pembangkit yang tidak terpengaruh terhadap kondisi alam, dimana pembangkit ini merupakan pembangkit yang didesain berdasarkan karena adanya gaya gravitasi bumi. Sehingga pembangkit ini dapat disebut sebagai pembangkit listrik tenaga gravitasi bumi (PLTGB).

Metode yang dilakukan pada perancangan prototipe pembangkit listrik tenaga gravitasi bumi yaitu dengan menyesuaikan keadaan kondisi kesetimbangan massa benda, sehingga mengakibatkan perputaran poros dan dapat dijadikan daya mekanik untuk memutar generator. Namun dalam proses perancangan pembangkit listrik tenaga gravitasi bumi ini, tidak terlepas dari sumber bantuan luar berupa sumber DC 12V untuk dapat memutar motor DC yang mengontrol kesetimbangan massa benda sehingga sistem pembangkit dapat terus berputar.

Hasil pengujian prototipe pembangkit listrik tenaga gravitasi bumi yang dimana dengan dimensi panjang 64 cm, lebar 37 cm, tinggi 82 cm telah mampu menghasilkan energi listrik maksimal sebesar 1 kWh. Dan dimana dengan putaran maksimal generator sebesar 105,48 rpm mampu menghasilkan tegangan maksimal sebesar 19,87 V dan arus maksimal sebesar 14 mA. Adapun dalam perancangan prototipe pembangkit listrik ini terdapat energi listrik masukan sebesar 0,43 kWh, sehingga energi listrik yang dihasilkan lebih besar dari pada energi listrik yang digunakan dan didapatkan energi listrik bebas sebesar $1\text{kWh} - 0,43\text{ kWh} = 0,57\text{ kWh}$ dan menghasilkan efisiensi total maksimum sistem pembangkit sebesar 12%.

Kata Kunci: Pembangkit Tenaga Listrik, Gravitasi Bumi, Generator AC, Efisiensi Pembangkit.

ABSTRACT

Energy's consumption in Indonesia continuously rises due to population growth, economic growth and life style of people. The limitation of supply fossil material in the future, encourages the use of friendly environment energy resources or use renewable energy sources such as (water energy, solar, wind, geothermal, biomass). However, in the most cases, utilization of energy resources are depend on the condition of the nature, it is therefore, an idea rises to develop a power plant that is not influenced by nature. Hence a prototype of earth's gravitational power plant is developed in this thesis .

The method used to design a prototype of Earth's gravitational power plant that by adjusting the balance conditions of the object, that can make rotation of the shaft and mechanical power to spin a generator. However, in designing a prototype of Earth's gravitational power plant, still use of external assistance source in the form of a 12V DC source to rotate the DC motor. To operate the system control the balance condition of objects so that make the system can continuously spin.

In this thesis a prototype of Earth's gravitational power plant developed it has dimensions of (length 64 cm, width 37 cm, height 82 cm) and the max power that can be produced is 1 kWh. In the maximum rotation of generator at 105.48 rpm, has been able to produce maximum voltage of 19.87 V and maximum current of 14 mA. the power plant need energy input of 0.43 kWh, here the electrical energy generated is greater than energy used to rotate the motor so that the system results an amount of free electrical energy of $1\text{kWh} - 0.43\text{ kWh} = 0.57\text{ kWh}$. The maximum efisiensi of the system is 12%.

Keywords: Power Plant, Earth's gravity, AC generator, generator efficiency.

¹ Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi di Indonesia terus meningkat disebabkan oleh penambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi dan pola konsumsi energi yang senantiasa semakin tinggi. Penggunaan energi tersebut sebagian besar berasal dari pembangkit-pembangkit energi fosil seperti : PLTD, PLTU, dan PLTG. Keterbatasan persediaan dari bahan material fosil dalam waktu mendatang menjadi pemicu untuk memanfaatkan energi yang ramah lingkungan yaitu energi yang bersumber dari energi baru terbarukan (EBT) seperti energi air, surya, angin, panas bumi, biomass.

Pemanfaatan energi – energi terbarukan tersebut memiliki keterbatasan dalam pemanfaatannya seperti halnya PLT angin yang membutuhkan angin yang konstan dengan kecepatan tertentu untuk dapat menghasilkan energi listrik.

Oleh karena itu, timbullah pemikiran untuk merancang sebuah pembangkit yang tidak terpengaruh terhadap keadaan lingkungannya, dimana pembangkit ini merupakan pembangkit yang didesain berdasarkan karena adanya gaya gravitasi bumi. Sehingga pembangkit ini dapat disebut sebagai pembangkit listrik tenaga gravitasi bumi (PLTGB).

perancangan pembangkit ini, memanfaatkan gravitasi dengan menyesuaikan kondisi berat massa benda yang disusun sedemikian rupa untuk menimbulkan rotasi. Sehingga dapat dijadikan sebagai pemutar generator dan pada akhirnya dapat menghasilkan energi listrik.

Gravitasi. Gravitasi adalah gayatarik-menarik yang terjadi antara semua partikel yang mempunyai massa di alam semesta. Gravitasi matahari mengakibatkan benda-benda langit berada pada orbit masing-masing dalam mengitari matahari. Newton mengemukakan hukum gravitasi (*law of gravitation*) pada tahun 1687, yang berbunyi “ setiap partikel dari alam semesta menarik setiap partikel lain dengan gaya yang berbanding lurus dengan hasil kali massa-massa partikel dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak di antara partikel-partikel tersebut”. Sehingga dapat di peroleh persamaan :

$$F_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

- F_g =Gaya gravitasi (N)
- G = Konstanta gravitasi (N.m²/kg²)
- m_1 = Massa benda pertama (kg)

- m_2 = Massa benda kedua (kg)
- r = Jarak antara kedua partikel benda (m)

Gaya dan Torsi. Torsi atau momen gaya adalah ukuran keefektifan sebuah gaya yang bekerja pada suatu benda untuk memutar benda tersebut terhadap suatu titik poros tertentu. Hasil kali sebuah gaya dengan lengannya dinamakan torsi, τ :

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} = rF \sin \theta \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

- τ = Torsi (N.m)
- r = Jarak tegak lurus antara garis kerja sebuah gaya dengan sumbu rotasi (m)
- F = Gaya (N)
- θ = Sudut antara batang langsing dengan gaya (rad)

Dari hukum ke dua Newton untuk massa yang konstan dapat ditulis :

$$\vec{F} = \vec{m} \cdot \vec{a} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

- \vec{F} = Gaya (N)
- \vec{m} = Massa benda (kg)
- \vec{a} = Percepatan (m/s²)

Berat suatu benda (w) adalah besarnya gaya tarik bumi terhadap benda tersebut dan arahnya menuju pusat bumi (vertikal ke bawah).Persamaan hubungan massa dan berat :

$$w = mg \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

- w = Gaya berat (N)
- m = Massa benda (kg)
- g = Percepatan gravitasi (m/s²) memiliki tetapan nilai sebesar 9,8 m/s²

Sehingga hubungan persamaan torsi dengan gaya berat :

$$\tau = wr \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan :

- τ = Torsi (N.m)
- w = Gaya berat (N)
- r = Jarak tegak lurus antara garis kerja sebuah gaya dengan sumbu rotasi (m)

Kecepatan sudut dan daya gerak rotasi. Kecepatan sudut didefinisikan sebagai rasio perpindahan sudut $\Delta\theta$ terhadap perubahan waktu Δt .

$$\omega = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan :

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

θ = Sudut (rad)

t = Waktu putar (s)

Dalam pengkonversian putaran (*revolusi*) per menit (rad/menit atau rpm) memiliki nilai 1 putaran = 2π rad. 1 rev/s = 2π rad/s dan 1 rev/menit = 1 rpm = $\frac{2\pi}{60}$ rad/sec.

Sehingga didapatkan persamaan hubungan antara kecepatan sudut terhadap jumlah putaran dalam waktu detik :

$$\omega = 2\pi n \text{ (rps)} = 2\pi f \text{ (Hz)} \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan :

n = Jumlah putaran (rpm)

f = Frekuensi sumber tegangan (Hz)

Ketika sebuah torsi τ (terhadap sumbu putar) bekerja pada sebuah benda yang berputar dengan kecepatan sudut ω , dayanya adalah hasil kali dari τ dan ω .

$$P = \tau \omega \dots\dots\dots(8)$$

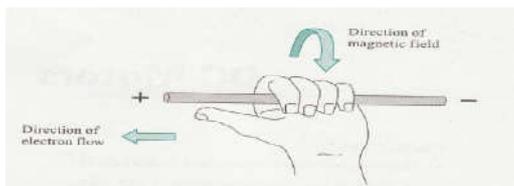
Keterangan :

p = Daya (Watt)

τ = Torsi (N.m)

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

Motor DC. Motor DC atau motor arus searah adalah mesin listrik yang mengubah energi listrik arus searah menjadi energi mekanik. Terdapat 2 (dua) prinsip dasar yang melatar belakangi kerja motor DC. Pertama yaitu adanya aliran arus yang melewati sebuah konduktor atau penghantar. Dimana akan timbul medan magnet mengelilingi penghantar tersebut. Arah garis gaya magnet (fluks magnet) ini sesuai kaidah tangan kiri yang ditunjukkan pada Gambar (1). Ibu jari menandakan arah muatan arus elektron yang mengalir dan jari-jari menunjukkan arah dari garis gaya magnet (*fluks*) yang mengelilingi penghantar.



Gambar 1 Kaidah tangan kiri.

Kedua adalah gaya pada penghantar bergerak dalam medan magnet. Besarnya gaya yang didesakkan untuk menggerakkan berubah sebanding dengan kekuatan medan magnet, besarnya arus yang mengalir pada penghantar, dan panjang penghantar. Gaya tersebut disebut gaya Lorentz. Sesuai dengan persamaan :

$$F = B \times I \times \ell \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan :

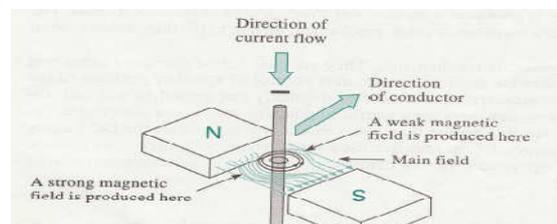
F = Gaya pada kumparan (Newton)

B = Kuat medan magnet (Tesla)

I = Arus yang mengalir (Ampere)

ℓ = Panjang kumparan (meter)

Arah dari garis gaya magnet tergantung dari arah arus yang mengalir pada kumparan dan arah dari garis - garis fluks magnet antara dua kutub. Sebagaimana diilustrasikan pada Gambar (2). Medan magnet mengembang diantara dua kutub dari magnet permanen atau induksi elektromagnet. Ketika penghantar berarus di tempatkan di antara dua kutub magnet, maka menghasilkan pembengkokan garis gaya. Sehingga, di satu sisi memusatkan kedua medan magnet menimbulkan medan magnet yang kuat dan disisi lain berlawanan menimbulkan medan magnet yang lemah. Garis gaya magnet yang kuat cenderung lurus keluar dan menekan kearah garis gaya magnet yang lemah. Dan menyebabkan penghantar tersebut berputar berlawanan arah jarum jam.



Gambar 2 Interaksi penghantar berarus diantara medan magnet.

Generator. Pada akhir abad 18 dan awal abad 19, teori listrik dan magnet telah berkembang secara simultan. Penemuan terpenting adalah yang ditemukan Hans Christian Oersted. Tahun 1813 Hans Christian Oersted telah memprediksi hubungan antara magnetik dan

listrik akan ditemukan. Tahun 1819 beliau menempatkan kompas dekat kawat yang berarus listrik dan mengamati bahwa kompas mengalami perubahan arah. Penemuan ini menjelaskan bahwa listrik yang mengalir akan menghasilkan medan magnetik. Kemudian penemuannya di kembangkan oleh Andre Marie Ampere seorang ilmuwan Perancis. Ia mempelajari gaya yang terjadi di antara dua muatan yang mengalir di dalam dua kawat yang sejajar. Pada 1831 ilmuwan Inggris Michael Faraday telah menemukan bahwa magnet yang bergerak di dekat kumparan akan menghasilkan aliran listrik, penemuan ini merupakan kebalikan dari penemuan Oersted. Oersted menunjukkan bahwa aliran listrik menghasilkan medan magnet, tapi Faraday menunjukkan yang sebaliknya, perubahan medan magnet dapat digunakan untuk menimbulkan aliran listrik.

Prinsip kerja dari sebuah generator adalah berdasarkan pada Hukum Induksi Faraday yang berbunyi sebagai berikut “ Apabila sebuah konduktor digerakkan dan memotong garis-garis gaya magnetik (fluks), maka pada konduktor tersebut akan timbul sebuah gaya gerak listrik (ggl)”.

Bantalan (Bearing). Bantalan adalah elemen mesin yang menumpu poros berbeban, sehingga putaran atau gerak bolak-balik dapat bekerja dengan aman, halus dan panjang umur. Bantalan harus kokoh untuk memungkinkan poros atau elemen mesin lainnya dapat bekerja dengan baik. Jika bantalan tidak bekerja dengan baik, maka prestasi kerja seluruh sistem akan menurun atau tidak dapat bekerja semestinya. Jadi, jika disamakan pada gedung, maka bantalan dalam permesinan dapat disamakan dengan pondasi pada satu gedung.

Roda gigi (Gear). Roda gigi adalah salah satu jenis elemen transmisi yang penting untuk suatu pemindahan gerak (terutama putaran). Daya atau tenaga pada suatu sistem transmisi antara penggerak dengan yang digerakan. Suatu konstruksi hubungan roda gigi digunakan pula untuk sistem pengatur pada pemindah putaran, atau untuk merubah gerak lurus menjadi gerak putar atau sebaliknya.

Menghitung percepatan gear dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$A_g = \frac{N_{g1}}{N_{g2}} \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan :

A_g = Percepatan gear

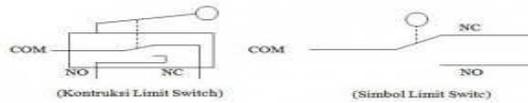
N_{g1} = Jumlah gigi gear pertama

N_{g2} = Jumlah gigi gear ke dua

Limit switch. Limit switch merupakan jenis saklar yang dilengkapi dengan katup yang berfungsi menggantikan tombol. Prinsip kerja limit switch sama seperti saklar Push ON yaitu hanya akan menghubungkan pada saat katupnya ditekan pada batas penekanan tertentu yang telah ditentukan dan akan memutuskan saat katup tidak ditekan.

Prinsip kerja limit switch diaktifkan dengan penekanan pada tombolnya pada batas/daerah yang telah ditentukan sebelumnya sehingga terjadi pemutusan atau penghubungan rangkaian dari rangkaian tersebut. Limit switch memiliki 2 kontak yaitu NO (Normally Open) dan kontak NC (Normally Close) dimana salah satu kontak akan aktif jika tombolnya tertekan. Konstruksi dan simbol limit switch dapat dilihat seperti gambar di bawah.

Konstruksi Dan Simbol Limit Switch :



Gambar 3 Konstruksi dan simbol limit switch.

METODOLOGI PERANCANGAN

Membahas metode yang meliputi tahap perancangan, pembuatan, pemilihan perangkat yang akan digunakan serta pengujian secara experimental. Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan didalam penelitian ini, sebagai berikut :

1. Menentukan spesifikasi awal prototipe pembangkit listrik tenaga gravitasi bumi melalui perhitungan.
2. Membuat desain sistem prototipe pembangkit listrik tenaga gravitasi bumi.
3. Pembuatan prototipe pembangkit listrik tenaga gravitasi bumi.
4. Perakitan prototipe pembangkit listrik tenaga gravitasi bumi.
5. Melakukan pengujian kinerja hasil perancangan prototipe pembangkit listrik tenaga gravitasi bumi.
6. Analisis data dari pengujian prototipe pembangkit listrik tenaga gravitasi bumi.

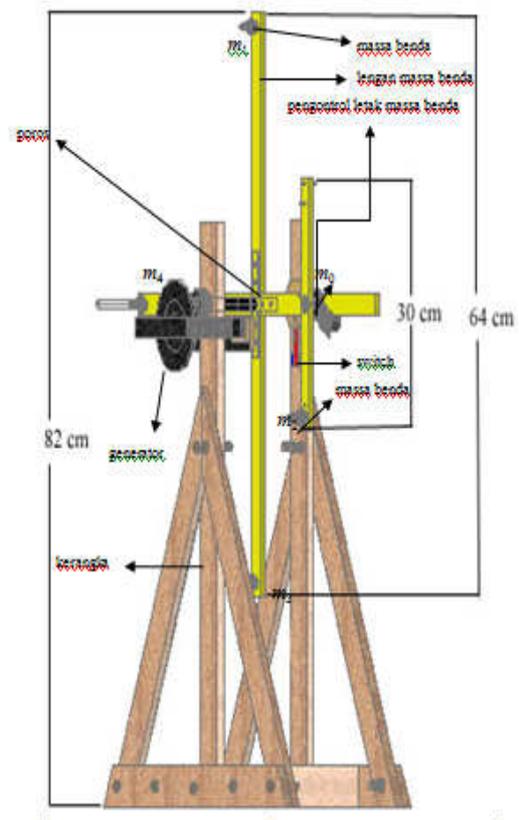
Dalam perancangan prototipe pembangkit listrik tenaga gravitasi bumi didasarkan dari beberapa faktor-faktor pendukung efektifitas daya yang dihasilkan pembangkit tersebut, adapun proses tersebut meliputi tahap-tahap perancangan dan

pembuatan pembangkit meliputi beberapa tahapan sebagai berikut:

- a. Perancangan lengan massa benda. Perancangan lengan massa benda dirancang menggunakan aluminium dengan panjang 64 cm x 2 dan lebar 2 cm yang dipasang silang, dan menggunakan plat besi dengan ketebalan 1 cm yang dipotong sesuai aluminium dan menggunakan baut dengan ukuran diameter 0,5 cm untuk menggabungkan aluminium dengan plat besi sehingga aluminium akan lebih kuat. Sebagaimana fungsi dari lengan massa benda ini sendiri yaitu, sebagai penopang massa benda dan penopang pengontrol letak massa benda.
- b. Perancangan pengontrol letak massa benda. Perancangan pengontrol letak massa benda dirancang menggunakan susunan roda gigi yang disusun sedemikian rupa dan motor DC 12 volt serta aluminium dengan panjang 30 cm, lebar 2 cm dan dimana aluminium yang digunakan ialah aluminium berongga. Adapun fungsi dari pengontrol letak massa benda disini ialah untuk menyesuaikan letak massa benda agar lengan yang mulanya dalam keadaan stabil atau setimbang berubah, sehingga salah satu sisi akan menjadi lebih berat dari sisi lainnya dan hal ini, akan menimbulkan berputarnya lengan massa benda.
- c. Perancangan massa benda. Perancangan massa benda ini dirancang menggunakan baut dengan susunan sedemikian rupa sesuai dengan massa yang dikehendaki, dimana massa benda yang dirancang yaitu sebesar 0,05 kg, 0,075kg, 0,1 kg, 0,125 kg, 0,150 kg, 0,175 kg, 0,2 kg. Adapun fungsi dari massa benda disini yaitu sebagai pemberat sehingga lengan benda dapat berputar yang diakibatkan karena adanya gaya gravitasi.
- d. Perancangan poros lengan massa benda. Perancangan poros akan dibuat menggunakan besi silinder dengan ukuran diameter 0,7 mm dan panjang 30 cm, serta pada kedua ujung sisi dihubungkan dengan baut ukuran diameter 0,5 mm. Adapun fungsi dari poros ini sendiri sebagai penyangga dari lengan massa benda, sehingga lengan massa benda dapat berputar sesuai dengan arah perputaran yang ditetapkan. Bentuk poros lengan massa benda dapat dilihat pada gambar berikut :

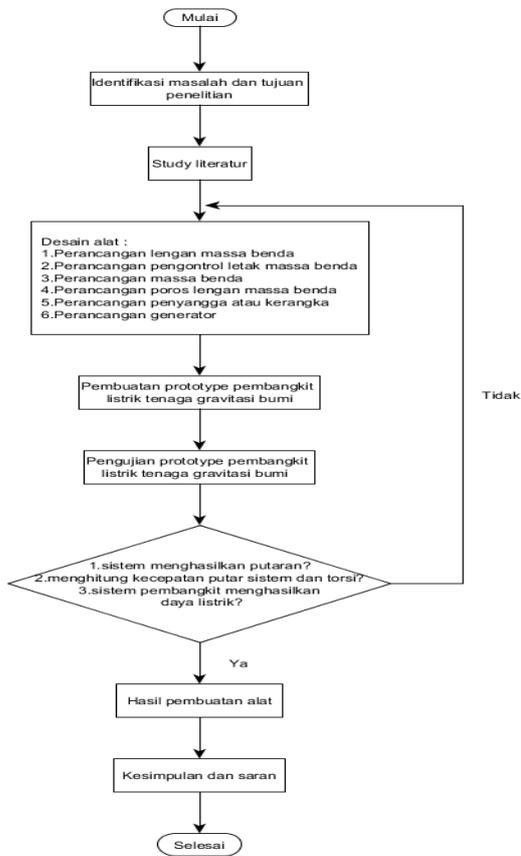
- e. Perancangan penyangga atau kerangka. Perancangan penyangga atau kerangka dirancang menggunakan kayu dengan ukuran panjang 60 cm, lebar 5 cm dan ketebalan 1 cm sebanyak 8 biji. Kayu ini dirancang sedemikian rupa yang dihubungkan dengan baut-baut sehingga menjadi kerangka atau penyangga. Adapun fungsi dari penyangga disini yaitu sebagai penopang keseluruhan susunan sistem, seperti lengan massa benda, poros, pengontrol letak massa benda, dan massa benda. Bentuk penyangga atau kerangka dapat dilihat pada gambar berikut ini:
- f. Perancangan generator. Perancangan generator memanfaatkan kerangka motor listrik dari kipas angin gantung. Dimana pada kerangka tersebut akan disusun dengan jumlah pole sebanyak 22, kemudian akan melilit ulang kerangka motor tersebut dengan lilitan kawat tembaga yang berjumlah 1200 lilitan kumparan. Lilitan kumparan dibentuk dengan bantuan alat penggulung kumparan, kemudian menghitung lilitan yang terbentuk pada media kumparan generator .

Desain konstruksi perancangan PLTGB



Gambar 4 Kontruksi PLTGB 3 dimensi tampak depan.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 5 Flowchart penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN.

Spesifikasi dan dimensi dari sistem penggerak prototipe pembangkit

- Panjang x Lebar Lengan Massa Benda : 64 cm x 2 cm
- Jumlah Lengan Massa Benda: 4
- Diameter Poros : 0,5 cm
- Panjang Poros : 35 cm
- Tinggi Kerangka : 70 cm
- Perbandingan gear sistem dan generator : 1 : 2
- Jumlah Laher : 2
- Motor DC 12V : 1

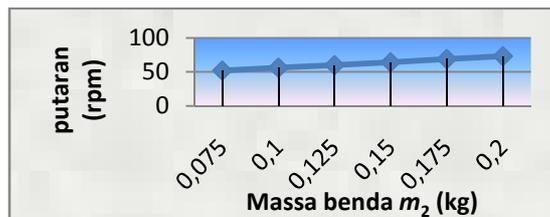
Pengukuran terhadap kecepatan putar dapat dilakukan apabila massa benda telah disesuaikan agar keseimbangan sistem dapat berubah, adapun jenis pengukuran yang dilakukan yaitu kecepatan putar sistem sebelum dikopel dengan generator dan kecepatan putar sistem setelah dikopel dengan generator. Pada pengukuran ini, akan diambil data dengan menyesuaikan kondisi berat massa benda :

- $m_2 = (0,05 \text{ kg}, 0,075 \text{ kg}, 0,1 \text{ kg}, 0,125 \text{ kg}, 0,150 \text{ kg}, 0,175 \text{ kg}, 0,2 \text{ kg})$
- $m_4 = (0,15 \text{ kg}, 0,2 \text{ kg})$

Kecepatan putar sistem pembangkit sebelum dikopel dengan generator. Tabel berikut menunjukkan data kecepatan putar sistem terhadap perubahan massa benda m_2 sebelum dikopel generator dengan kondisi massa benda $m_4 = 0,15 \text{ kg}$.

Tabel 1 Data kecepatan motor

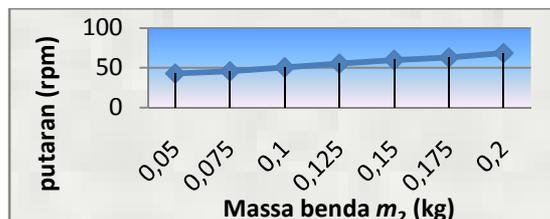
No	Massa benda m_2 (kg)	Putaran rata - rata (rpm)
1	0,050	47,03
2	0,075	52,05
3	0,100	56,26
4	0,125	59,99
5	0,150	64,36
6	0,175	68,91
7	0,200	73,32



Gambar 6 Hubungan perubahan berat (m_2) terhadap kecepatan putar sistem dengan ($m_4 = 0,15 \text{ kg}$) sebelum dihubungkan generator.

Tabel 2 data kecepatan putar sistem terhadap perubahan massa benda m_2 sebelum dikopel generator dengan kondisi massa benda $m_4 = 0.2 \text{ kg}$.

No	Massa benda m_2 (kg)	Putaran rata - rata (rpm)
1	0,050	42,85
2	0,075	45,66
3	0,100	50,62
4	0,125	55,21
5	0,150	59,92
6	0,175	63,08
7	0,200	68,58



Gambar 7 Hubungan perubahan berat (m_2) terhadap kecepatan putar sistem dengan ($m_4 = 0.2 \text{ kg}$) sebelum dihubungkan generator.

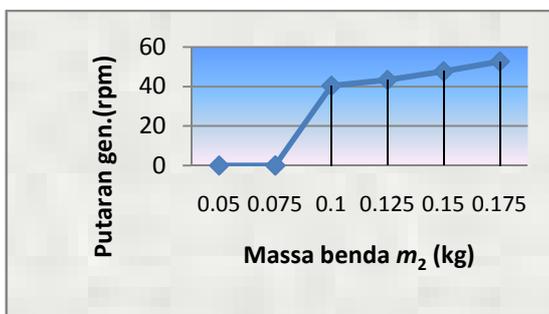
Data pada Tabel (1), (2) dan Gambar (6), (7) dapat dilihat bahwa sistem pembangkit sudah dapat mulai berputar dengan susunan massa benda m_2 0,05 kg dengan kondisi sebelum dikopel generator. Pada Tabel dan Gambar tersebut pula dapat dilihat perubahan kecepatan putar sistem, dimana dengan semakin besarnya massa benda m_2 maka akan semakin cepat pula putaran yang terjadi pada poros sistem pembangkit. Adapun untuk besar nilai maksimal dari massa benda m_2 ialah 0,2 kg sesuai dengan dimensi prototipe pembangkit yang telah dirancang.

Kecepatan putar sistem pembangkit setelah dikopel dengan generator.

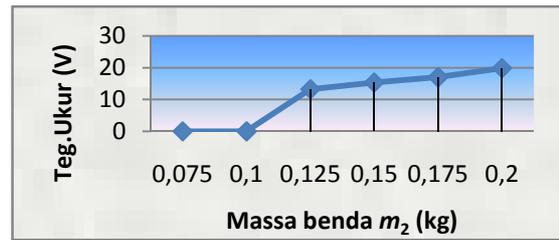
Kecepatan putar sistem setelah dikopel dengan generator akan mengalami perlambatan jika dibandingkan dengan kondisi sebelum dikopel generator, adanya perputaran pada generator tersebut akan mengakibatkan timbulnya tegangan yang akan dihasilkan oleh generator itu sendiri. Besarnya berat massa benda m_2 akan mempengaruhi besarnya tegangan yang dihasilkan oleh generator.

Tabel 3 Data kecepatan putar sistem terhadap perubahan massa benda m_2 setelah dikopel generator dengan kondisi massa benda $m_4 = 0,15$ kg.

No	Massa benda m_2 (kg)	Putaran rata - rata gen (rpm)	Teg.Ukur rata - rata (V)
1	0,050	0	0
2	0,075	0	0
3	0,100	0	0
4	0,125	80,88	13,23
5	0,150	86,7	15,36
6	0,175	95,44	17
7	0,200	105,48	19,87



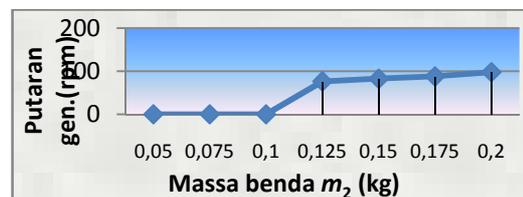
Gambar 8 Hubungan perubahan berat (m_2) terhadap kecepatan putar sistem dengan ($m_4 = 0,15$ kg) setelah dihubung generator.



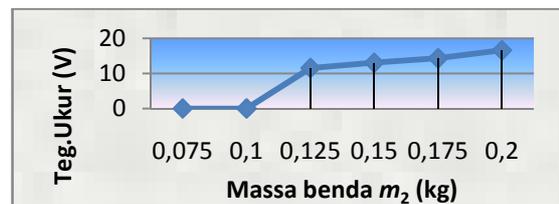
Gambar 9 Hubungan perubahan massa benda (m_2) terhadap tegangan ukur generator dengan ($m_4 = 0,15$ kg) .

Tabel 4 Data kecepatan putar sistem terhadap perubahan massa benda m_2 setelah dikopel generator dengan kondisi massa benda $m_4 = 0,2$ kg.

No	Massa benda m_2 (kg)	Putaran rata - rata gen (rpm)	Teg.Ukur rata - rata (V)
1	0,050	0	0
2	0,075	0	0
3	0,100	0	0
4	0,125	76,28	11,52
5	0,150	82,42	13
6	0,175	87,7	14,28
7	0,200	97,46	16,55



Gambar 10 Hubungan perubahan berat (m_2) terhadap kecepatan putar sistem dengan ($m_4 = 0,2$ kg) setelah dihubung generator.



Gambar 11 Hubungan perubahan massa benda (m_2) terhadap tegangan ukur generator dengan ($m_4 = 0,15$ kg).

Data pada Tabel (3), (4) dan Gambar (8 - 11) dapat dilihat bahwa sistem pembangkit mulai berputar pada kondisi massa benda m_2 0,125 kg. Hal ini terjadi karena pengaruh pembebanan generator. Untuk kondisi massa benda m_2 yang lebih kecil dari 0,125 kg sistem tersebut tidak dapat berputar, sehingga kecepatan putar sistem dan tegangan keluaran yang diukur adalah 0. Pada Tabel dan Gambar tersebut pula dapat dilihat

bahwa dengan kecepatan putar 76,28 rpm generator sudah mampu menghasilkan tegangan ukur sebesar 11,52 Volt, dan dengan semakin besar massa benda m_2 maka besar tegangan dan kecepatan putar sistem juga semakin besar. Adapun pada penelitian ini, batas maksimum besar massa benda m_2 ialah 0,2 kg.

Perhitungan nilai torsi sistem terhadap putaran. Mengacu pada dimensi sistem pembangkit didapatkan nilai torsi hitung sehingga dapat diketahui nilai torsi sistem pembangkit dan dapat menentukan nilai torsi yang dikehendaki generator. Untuk mendapatkan nilai torsi hitung sistem dengan menggunakan persamaan (11).

$$\sum \tau = \tau_0 + \tau_2 + \tau_3 - \tau_1 - \tau_4 \dots\dots\dots(11)$$

$$\tau = wr$$

$$w = mg$$

$$\sum \tau = m_0gr_0 + m_2gr_2 + m_3gr_3 - m_1gr_1 - m_4gr_4$$

Besar nilai - nilai dari massa benda adalah sebagai berikut :
 $m_0 = 0,1 \text{ kg}$
 $m_1 = 0,15 \text{ kg}$
 $m_2 = (0,05 \text{ kg}, 0,075 \text{ kg}, 0,1 \text{ kg}, 0,125 \text{ kg}, 0,150 \text{ kg}, 0,175 \text{ kg}, 0,2 \text{ kg})$
 $m_3 = 0,15 \text{ kg}$
 $m_4 = 0,15 \text{ kg}, 0,2 \text{ kg}.$

Dengan kondisi $m_2 = 0,05 \text{ kg}$ dan $m_4 = 0,15 \text{ kg}.$
 $\sum \tau = (0,1 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,15 \text{ m}) + (0,05 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,3 \text{ m}) + (0,15 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,3 \text{ m}) - (0,15 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,3 \text{ m}) - (0,15 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,3 \text{ m})$
 $= 0,147 + 0,441 + 0,147 - 0,441 - 0,441$
 $= -0,147 \text{ Nm}$

Perhitungan daya mekanik sistem pembangkit. Besar nilai daya mekanik sistem pembangkit sesuai dengan data pengukuran dapat ditentukan melalui persamaan (12).

$$P = \tau \omega \dots\dots\dots(12)$$

$$\omega = 2\pi n \text{ (rps)}$$

$$P = 2\pi n \tau$$

Perhitungan untuk besar nilai massa benda pada $m_4 = 0,15 \text{ kg}$
 Dengan kondisi $m_2 = 0,05 \text{ kg}$
 Kecepatan putar $50 \text{ rpm} = 50/60 \text{ rps} = 0,83 \text{ rps}$
 Torsi putar = $- 0,147 \text{ Nm}$

$$P_m = 2 \times 3,14 \times 0,83 \times (-0,147)$$

$$= - 0,76 \text{ Watt}$$

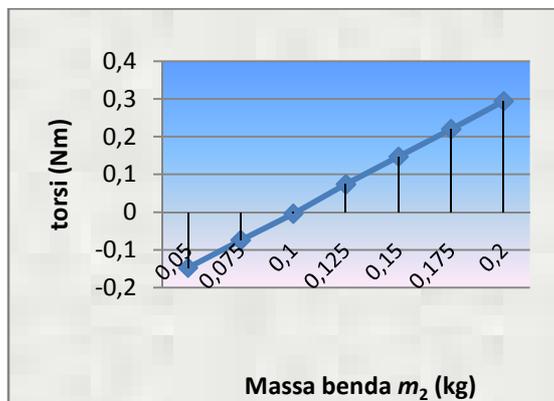
Untuk data hasil perhitungan daya mekanik sistem selanjutnya dengan menggunakan persamaan (12) dapat dilihat pada Tabel (5), (6) dan pada Gambar (13), (15).

Tabel 5 Data hasil perhitungan torsi dan daya mekanik sistem terhadap perubahan massa m_2 dengan ($m_4 = 0,15 \text{ kg}$), setelah dihubungkan generator.

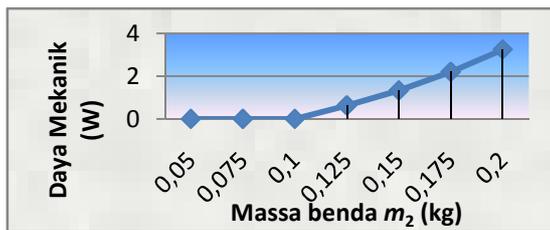
No	Massa benda m_2 (kg)	Putaran rata-rata gen. (rpm)	Teg. Ukur rata-rata (V)	Torsi hitung (Nm)	Daya mekanik P_m (W)
1	0,05	0	0	-0,147	0
2	0,075	0	0	-0,074	0
3	0,1	0	0	-0,004	0
4	0,125	80,88	13,23	0,074	0,63
5	0,150	86,7	15,36	0,147	1,33
6	0,175	95,44	17,03	0,22	2,2
7	0,2	105,48	19,87	0,294	3,24

Tabel 6 Data hasil perhitungan torsi dan daya mekanik sistem terhadap perubahan massa m_2 dengan ($m_4 = 0,2 \text{ kg}$), setelah dihubungkan generator.

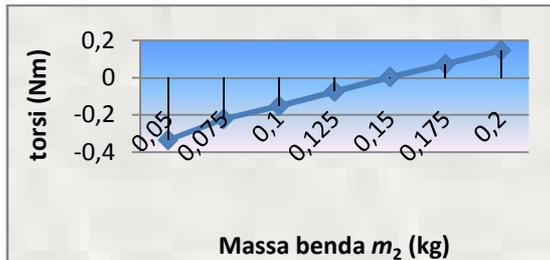
No	Massa benda m_2 (kg)	Putaran rata-rata gen. (rpm)	Teg. Ukur rata-rata (V)	Torsi hitung (Nm)	Daya mekanik P_m (W)
1	0,05	0	0	-0,334	0
2	0,075	0	0	-0,221	0
3	0,1	0	0	-0,151	0
4	0,125	76,28	11,52	-0,073	-0,58
5	0,150	82,42	13	0,004	0,03
6	0,175	87,7	14,28	0,073	0,67
7	0,2	97,46	16,55	0,147	1,5



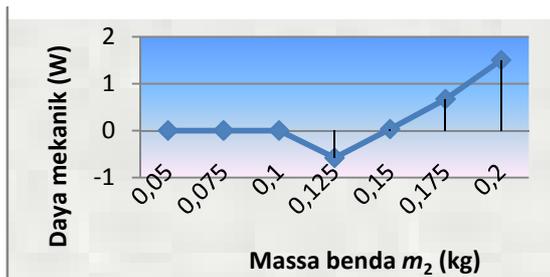
Gambar 12 Hubungan perubahan massa (m_2) terhadap torsi hitung dengan kondisi ($m_4 = 0,15 \text{ kg}$).



Gambar 13 Hubungan perubahan massa (m_2) terhadap daya mekanik sistem dengan kondisi ($m_4 = 0,15$ kg).



Gambar 14 Hubungan perubahan massa (m_2) terhadap torsi hitung dengan kondisi ($m_4 = 0,2$ kg).



Gambar 15 Hubungan perubahan massa (m_2) terhadap daya mekanik sistem dengan kondisi ($m_4 = 0,2$ kg).

Dari data hasil perhitungan pada Tabel (5), (6) dan Gambar (12 - 15) dapat dilihat pengaruh perubahan massa benda m_2 dan m_4 terhadap hasil perhitungan torsi dan daya mekanik sistem, maka nilai torsi dan daya mekanik sistem juga akan semakin besar. Sesuai dengan persamaan rumus dimana torsi dan daya dimana dengan semakin besarnya massa benda m_2 mekanik sistem berbanding lurus dengan massa benda.

Dari data pada tabel dan gambar tersebut dapat dilihat bahwa nilai torsi dan daya mekanik sistem yang memiliki nilai paling maksimum ialah pada saat kondisi massa benda $m_2 = 0,2$ kg dan massa benda $m_4 = 0,15$ kg.

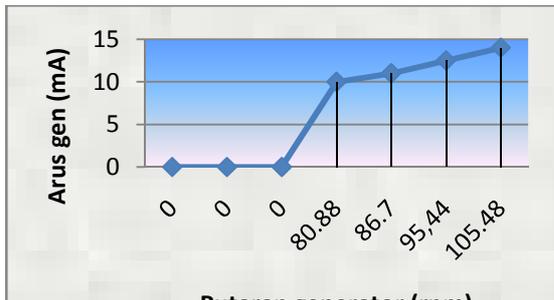
Perhitungan daya elektrik sistem pembangkit. Menentukan nilai daya elektrik yang dibangkitkan oleh generator akan digunakan persamaan $P = V \times I$, akan tetapi nilai arus ukur disini belum ditentukan, karena membutuhkan pembebanan untuk mengetahui besar nilai arus ukur itu sendiri. Untuk pengukuran arus penulis menggunakan tahanan sebesar 1 k Ω sebagai pembebanan untuk mendapatkan besar nilai arus pengukuran. Untuk hasil pengukuran arus dan perhitungan daya elektrik sistem dapat dilihat pada Tabel (7), (8) dan pada Gambar (16 - 19).

Tabel 7 Data hasil pengukuran arus dan daya elektik hitung generator terhadap kecepatan putar generator dengan kondisi massa benda $m_4 = 0.15$ kg.

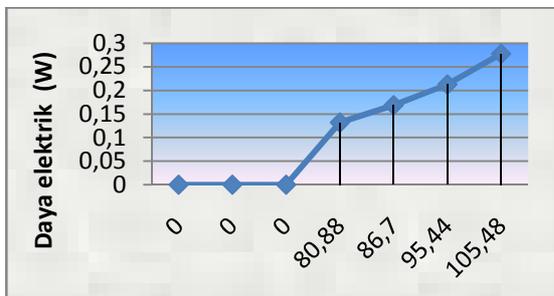
No	Massa benda m_2 (kg)	Putaran rata-rata gen. (rpm)	Teg. Ukur rata-rata (V)	Arus ukur rata-rata I_u (mA)	Torsi hitung (Nm)	Daya mekanik P_m (W)	Daya elektrik P_e (W)
1	0,05	0	0	0	-0,147	0	0
2	0,075	0	0	0	-0,074	0	0
3	0,1	0	0	0	-0,004	0	0
4	0,125	80,88	13,23	10	0,074	0,63	0,132
5	0,150	86,7	15,36	11	0,147	1,33	0,169
6	0,175	95,44	17,03	12,5	0,22	2,2	0,213
7	0,2	105,48	19,87	14	0,294	3,24	0,278

Tabel 8 Data hasil pengukuran arus dan daya elektik hitung generator terhadap kecepatan putar generator dengan kondisi massa benda $m_4 = 0.2 \text{ kg}$.

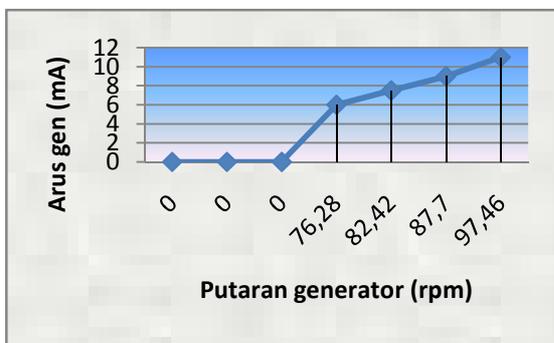
No	Massa benda m_2 (kg)	Putaran rata-rata gen.(rpm)	Teg.Ukur rata-rata (V)	Arus ukur rata-rata I_u (mA)	Torsi hitung (Nm)	Daya mekanik P_m (W)	Daya elektrik P_e (W)
1	0,05	0	0	0	0,334	0	0
2	0,075	0	0	0	0,221	0	0
3	0,1	0	0	0	0,151	0	0
4	0,125	76,28	11,52	6	0,073	0,58	0,069
5	0,150	82,42	13	7,5	0,004	0,03	0,097
6	0,175	87,7	14,28	9	0,073	0,67	0,128
7	0,2	97,46	16,55	11	0,147	1,5	0,182



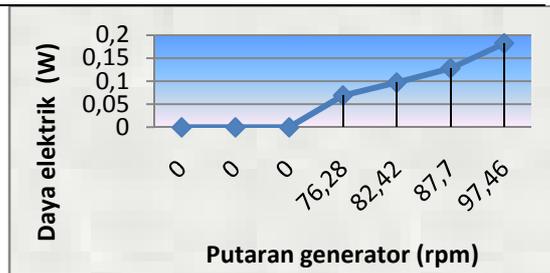
Gambar 16 Hubungan putaran generator terhadap arus ukur generator dengan kondisi massa benda ($m_4 = 0,15 \text{ kg}$) .



Gambar 17 Hubungan putaran generator terhadap daya elektrik generator dengan kondisi massa benda ($m_4 = 0,15 \text{ kg}$) .



Gambar 18 Hubungan putaran generator terhadap arus ukur generator dengan kondisi massa benda ($m_4 = 0,2 \text{ kg}$) .



Gambar 19 Hubungan putaran generator terhadap daya elektrik generator dengan kondisi massa benda ($m_4 = 0,2 \text{ kg}$) .

Data pada Tabel 7, 8 dan Gambar (16 - 19) dapat dilihat bahwa dengan semakin besarnya putaran generator maka arus ukur dan daya elektrik hitung sistem yang dihasilkan juga akan semakin besar, karena arus dan daya listrik berbanding lurus dengan tegangan sesuai dengan hubungan persamaan $P = V \times I$.

Perhitungan Efisiensi Sistem Prototipe Pembangkit. Menentukan nilai efisiensi dari sistem prototipe pembangkit, terlebih dahulu perlu diketahui sistem daya apa saja yang bekerja pada prototipe tersebut. adapun daya yang bekerja pada sistem prototipe pembangkit ialah daya elektrik dan mekanik motor, daya mekanik sistem dan daya elektrik generator.

Perhitungan daya elektrik dan mekanik motor pada sistem. Menentukan perhitungan efisiensi motor yang digunakan pada sistem prototipe pembangkit perlu ditinjau kembali bahwa fungsi motor itu sendiri ialah untuk mengkonversi energi listrik menjadi energi mekanik. Adapun untuk perhitungan efisiensi motor dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P_{in} \text{ motor} = V \times I \dots\dots\dots(13)$$

$$= 12 \text{ V} \times 0,04 \text{ A}$$

$$= 0,48 \text{ VA}$$

$$P_{out} \text{ motor} = \omega \tau \dots\dots\dots(14)$$

$$= 2\pi n \times Fr$$

$$= 2\pi n \times mar$$

karena di dalam sistem terdapat percepatan angular sehingga dari rumusan tersebut, percepatan linier akan d konversikan menjadi :

$$a = ar$$

sehingga ,

$$P_{out}motor = 2\pi n \times mar^2 \dots\dots\dots(15)$$

$$\alpha = \frac{\omega}{t}$$

$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

Dalam sistem pembangkit akan dilihat secara manual pergerakan mekanik putaran yang di kerjakan oleh motor DC. Dimana dalam sudut 45 ° berlangsung selama 1,25 detik, sehingga didapatkan besar nilai kecepatan putar dari motor DC tersebut.

$$\omega = \frac{45}{1,25}$$

$$\omega = 30rad/s$$

$$\alpha = \frac{30}{1,5}$$

$$\alpha = 20rad / s^2$$

$$P_{out}motor = 2\pi n \times mar^2$$

$$P_{out}motor$$

$$= 2\pi \times 2 \times 0,20 kg$$

$$\times 20 \frac{rad}{s^2} \times (0,15m)^2$$

$$P_{out}motor = 1,13 W$$

Perhitungan daya elektrik dan mekanik generator sistem. Perhitungan efisiensi generator dapat dilihat dari fungsi generator itu sendiri ialah untuk mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Adapun untuk perhitungan efisiensi generator sistem dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_{msistem} = \omega\tau \dots\dots\dots(16)$$

$$= 2\pi n \times \tau$$

$$= 2 \times 3,14 \times 0,86 \times 0,294$$

$$= 1,58 W$$

$$P_{out}generator = V \times I$$

$$= 19,87 \times 0,014$$

$$= 0,28 W$$

Perhitungan efisiensi total sistem. Perhitungan efisiensi total sistem akan digunakan nilai dari data hasil perhitungan yang paling maksimum yaitu pada saat kondisi massa $m_2 = 0,2 kg$ dan $m_4 = 0,15 kg$.

- efisiensi motor

$$\eta_m = \frac{(P_{msistem} - P_{mmotor})}{P_{inmotor}} \times 100 \% \dots\dots(17)$$

$$\eta_m = \frac{(1,58 - 1,13)}{0,48} \times 100 \%$$

$$\eta_m = \frac{0,45}{0,48} \times 100 \%$$

$$\eta_m = 0,93 \times 100 \%$$

$$\eta_m = 93 \%$$

- efisiensi sistem

$$\eta_s = \frac{P_{mmotor}}{P_{msistem}} \times 100 \% \dots\dots\dots(18)$$

$$\eta_s = \frac{1,13}{1,58} \times 100 \%$$

$$\eta_s = 0,72 \times 100 \%$$

$$\eta_s = 72 \%$$

- efisiensi generator

$$\eta_g = \frac{P_{outgenerator}}{P_{msistem}} \times 100 \% \dots\dots\dots(19)$$

$$\eta_g = \frac{0,28}{1,58} \times 100 \%$$

$$\eta_g = 0,18 \times 100 \%$$

$$\eta_g = 18 \%$$

- efisiensi total sistem pembangkit

$$\eta_t = \eta_m \times \eta_s \times \eta_g \dots\dots\dots(20)$$

$$\eta_t = 0,93 \times 0,72 \times 0,18$$

$$\eta_t = 0,12 \times 100\%$$

$$\eta_t = 12 \%$$

KESIMPULAN.

Berdasarkan hasil pengujian sistem prototipe pembangkit listrik tenaga gravitasi bumi maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari parameter dimensi sistem pembangkit, sistem pembangkit sebelum dihubungkan dengan generator menghasilkan putaran maksimal sebesar 73,32 rpm dengan kondisi massa benda $m_2 = 0,2 kg$ dan massa benda $m_4 = 0,15 kg$. Sedangkan sistem pembangkit setelah dihubungkan generator menghasilkan putaran maksimal sebesar 52,74 rpm dengan kondisi massa benda yang sama. Serta mampu menghasikan torsi maksimal sebesar 0,294 Nm dengan kondisi massa benda yang sama.
2. Perancangan prototipe pembangkit listrik tenaga gravitasi bumi menghasilkan tegangan maksimal sebesar 19,87 V dengan kecepatan putar generator 105,48 rpm, serta menghasilkan arus sebesar 0,014 A dengan pembebanan tahanan 1kΩ. Sehingga daya keluaran maksimal generator sebesar 0,278 W.
3. Berdasarkan perhitungan efisiensi sistem pembangkit didapatkan nilai efisiensi sistem sebesar 12%. Dan pada

perancangan prototipe pembangkit didapatkan nilai perbandingan energi yang diserap terhadap energi yang dihasilkan, dimana energi yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan energi yang diserap yaitu sebesar 0,57 kWh.

SARAN.

Untuk pengembangan lebih lanjut, diberikan beberapa saran yang dapat dilakukan.

1. Perlunya pengetahuan tentang ilmu bahan material yang lebih dalam sehingga nantinya dapat ditentukan bahan material yang tepat untuk pembuatan pembangkit listrik tenaga gravitasi bumi.
2. Untuk kedepannya perlu dirancang sebuah mekanisme perputaran berupa roda gila sehingga putaran menjadi lebih stabil.
3. Perlunya pemahaman lebih mendalam mengenai rumus-rumusan persamaan yang digunakan didalam perancangan sistem pembangkit listrik tenaga gravitasi bumi. Sehingga kedepannya dapat mempermudah didalam perancangan pembangkit listrik yang lebih besar.

DAFRAT PUSTAKA

- Endarko., Muntini, M.S., Prasetio, L., Faisal, H., 2008. *Fisika Jilid 1 Untuk SMK Teknologi*. Jakarta
- Young, Hugh D. & Freedman, Roger A. 2002. *Fisika Universitas (Terjemahan)*. Jakarta : Penerbit Erlangga
- Zamroni, M., dan Moediyono., 2010. *Kendali Motor DC Sebagai Penggerak Mekanik Pada Bracket Lcd Proyektor dan Layar Dinding Berbasis Mikrokontroler AT89S5*. Semarang : Universitas Diponegoro Semarang
- Zuhal., 1991. *Dasar Teknik Tenaga Listrik*. Bandung : Institut Teknologi Bandung