**BAB IV**

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**4.1 Parameter-Parameter Perancangan**

Parameter-parameter yang dirancang pada PLTGB untuk dapat menghasilkan energi listrik adalah sebagai berikut:

**4.1.1 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

**4.1.2 Parameter *gear***

*Gear* berfungsi untuk menghubungkan poros sistem dengan generator, dua roda gigi yang bersinggungan akan mentransmisikan gerakan rotasi. Roda gigi yang lebih kecil bergerak lebih cepat, namun memiliki torsi yang lebih rendah sedangkan roda gigi yang besar berputar lebih rendah namun memiliki torsi yang lebih tinggi. Besar kecepatan putar dan torsi keduanya proporsional satu sama lain. Percepatan *gear* (*Ag*) yang digunakan dapat dihitung dengan persamaan (4-1) :

Diketahui:

Jumlah gigi *gear* besar ( *Ng*1) = 36

Jumlah gigi *gear* kecil ( *Ng*2 ) = 16

= (4-1)

=

= 2,25

Dengan perhitungan seperti di atas maka percepatan *gear* adalah 1 : 2 putaran.

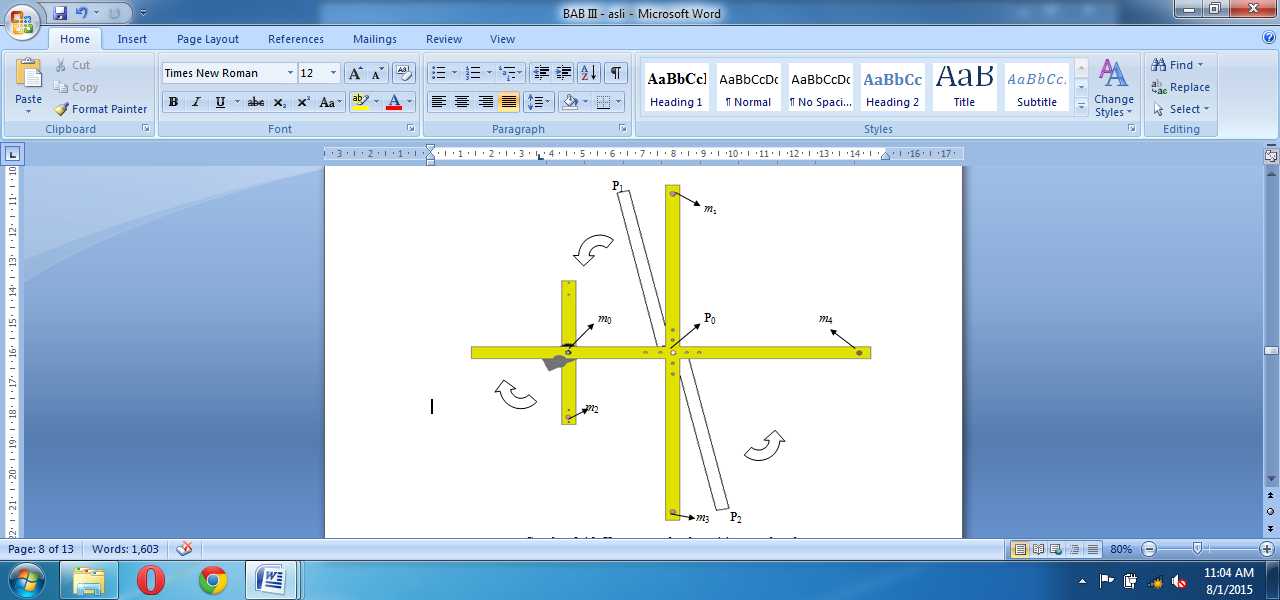
**4.2 Pengukuran Kecepatan Putar Sistem Pembangkit Terhadap Berat Massa Benda**

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 kg, 0,075 kg, 0,1 kg, 0,125 kg, 0,150 kg, 0,175 kg, 0,2 kg)

*m*4 = (0,15 kg , 0,2 kg)

Adapun untuk letak massa benda *m*2 dan *m*4 dapat dilihat pada gambar (4.1).



Gambar 4.1. Keterangan letak posisi massa benda.

**4.2.1 Kecepatan putar sistem pembangkit sebelum dikopel dengan generator** Perputaran yang terjadi merupakan akibat dari perbedaan gaya berat yang disebabkan oleh massa benda yang tidak seimbang, karena telah dipengaruhi oleh pengontrol letak massa benda sehingga mengakibatkan perputaran pada poros sistem dengan pegangan *bearing*. Data besar pengaruh perubahan massa benda terhadap kecepatan putar sistem sebelum dikopel dengan generator, dapat dilihat pada Tabel (4.1), (4.2) dan pada Gambar (4.2), (4.3).

Tabel 4.1 Data kecepatan putar sistem terhadap perubahan massa benda *m*2 sebelum dikopel generator dengan kondisi massa benda *m*4 = 0,15 kg.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 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 |

Tabel 4.2 Data kecepatan putar sistem terhadap perubahan massa benda *m*2 sebelum dikopel generator dengan kondisi massa benda *m*4 = 0.2 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 4.2. Hubungan perubahan berat (*m*2) terhadap kecepatan putar sistem dengan (*m*4 = 0,15 kg) sebelum dihubung generator.

Gambar 4.3. Hubungan perubahan berat (*m*2) terhadap kecepatan putar sistem dengan (*m*4 = 0,2 kg) sebelum dihubung generator.

.

Dari data pada Tabel (4.1), (4.2) dan Gambar (4.2), (4.3) 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 (4.1), (4.2) dan Gambar (4.2), (4.3) 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.

**4.2.2 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.

Data hasil pengukuran kecepatan putar generator dan tegangan hasil pengukuran berdasarkan perubahan massa benda *m*2 dan *m*4 dapat dilihat pada Tabel (4.3), (4.4) dan Gambar (4.4 - 4.7).

Tabel 4.3 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 |

Tabel 4.4 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 4.4. Hubungan perubahan berat (*m*2) terhadap kecepatan putar sistem dengan (*m*4 = 0,15 kg) setelah dihubung generator.

Gambar 4.5. Hubungan perubahan massa benda (*m*2) terhadap tegangan ukur generator dengan (*m*4 = 0,15 kg) .

Gambar 4.6. Hubungan perubahan berat (*m*2) terhadap kecepatan putar sistem dengan (*m*4 = 0,2 kg) setelah dihubung generator.

Gambar 4.7. Hubungan perubahan massa benda (*m*2) terhadap tegangan ukur generator dengan (*m*4 = 0,15 kg).

Dari data pada Tabel (4.3), (4.4) dan Gambar (4.4 - 4.7) 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 (4.3), (4.4) dan Gambar (4.4 - 4.7) 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.

* + 1. **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 (4-2).

(4-2)

Dimana pada perhitungan torsi ini, besar dari massa benda *m*0, *m*1, *m*3 dalam keadaan tetap tidak dirubah. Sedangkan besar nilai dari massa benda *m*2 dan *m*4 diubah-ubah sehingga akan dapat dilihat pengaruhnya terhadap kecepatan putar sistem. Adapun besar nilai - nilai dari massa benda adalah sebagai berikut :

*m*0 = 0,1 kg,

*m*1 = 0,15 kg,

*m*2 = ( 0,05 kg, 0,075 kg, 0,1 kg, 0,125 kg, 0,150 kg, 0,175 kg, 0,2 kg),

*m*3 = 0,15 kg,

*m*4 = 0,15 kg, 0,2 kg.

Dengan kondisi *m*2 = 0,05 kg dan *m*4 = 0,15 kg.

(0,1 kg.9,8 m/s2.0,15 m) + (0,05 kg.9,8 m/s2.0,3 m) + (0,15 kg.9,8 m/s2.0,3 m) - (0,15 kg.9,8 m/s2.0,3 m) - (0,15 kg.9,8 m/s2.0,3 m)

= 0,147 + 0,441+ 0,147 – 0,441 – 0,441

= 0,147 Nm

Dengan menggunakan persamaan (4-2) untuk perhitungan torsi sistem selanjutnya dapat dilihat data hasil perhitungan torsi sistem tersebut pada Tabel (4.5), (4.6) dan Gambar (4.9), (4.11).

**4.2.4 Perhitungan daya mekanik sistem pembangkit**

Untuk mendapatkan besar nilai daya mekanik sistem pembangkit sesuai dengan data pengukuran dapat ditentukan malalui persamaan (4-3).

.................................................................................................. (4-3)

Perhitungan untuk besar nilai massa benda pada *m*4 = 0,15 kg

Dengan kondisi *m*2 = 0,05 kg

Kecepatan putar 50 rpm = 50/60 rps = 0,83 rps

Torsi putar = - 0,147 Nm

*Pm* = 2 x 3,14 x 0,83 x (-0,147)

= - 0,76 Watt

Untuk data hasil perhitungan daya mekanik sistem selanjutnya dengan menggunakan persamaan (4-3) dapat dilihat pada Tabel (4.5), (4.6) dan pada Gambar (4.9), (4.11).

Tabel 4.5 Data hasil perhitungan torsi dan daya mekanik sistem terhadap perubahan massa *m*2 dengan (*m*4 = 0,15 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  Pm(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 4.6 Data hasil perhitungan torsi dan daya mekanik sistem terhadap perubahan massa *m*2 dengan (*m*4 = 0,2 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  *Pm*(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 4.8. Hubungan perubahan massa (*m*2) terhadap torsi hitung dengan kondisi (*m*4 = 0,15 kg).

Gambar 4.9. Hubungan perubahan massa (*m*2) terhadap daya mekanik sistem dengan kondisi(*m*4 = 0,15 kg).

Gambar 4.10. Hubungan perubahan massa (*m*2) terhadap torsi hitung dengan kondisi (*m*4 = 0,2 kg).

Gambar 4.11. Hubungan perubahan massa (*m*2) terhadap daya mekanik sistem dengan kondisi(*m*4 = 0,2 kg).

Dari data hasil perhitungan pada Tabel (4.5), (4.6) dan Gambar (4.8 - 4.11) dapat dilihat pengaruh perubahan massa benda *m*2 dan *m*4 terhadap hasil perhitungan torsi dan daya mekanik sistem, dimana dengan semakin besarnya massa benda *m*2 maka nilai torsi dan daya mekanik sistem juga akan semakin besar. Sesuai dengan persamaan rumus dimana torsi dan daya 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. Sehingga didapatkan dari hasil pengujian tersebut perbandingan yag dijadikan sebagai formula untuk menentukan nilai massa benda yaitu :

**4.2.5 Perhitungan daya elektrik sistem pembangkit**

Dalam menentukan nilai daya elektrik yang dibangkitkan oleh generator akan digunakan persamaan : , 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 sebagai pembebanan untuk mendapatkan besar nilai arus pengukuran. Untuk hasil pengukuran arus dan perhitungan daya elektrik sistem dapat dilihat pada Tabel (4.7), (4.8) dan pada Gambar (4.12 - 4.15)

Tabel 4.7 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  Iu(mA) | Torsi hitung  (Nm) | Daya mekanik  Pm(W) | Daya elektrik Pe (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 4.8 Data hasil pengukuran arus dan daya elektik hitung generator terhadap kecepatan putar 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) | Arus ukur rata-rata  Iu(mA) | Torsi hitung  (Nm) | Daya mekanik  Pm(W) | Daya elektrik  Pe (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 4.12. Hubungan putaran generator terhadap arus ukur generator dengan kondisi massa benda (*m*4 = 0,15 kg) .

Gambar 4.13. Hubungan putaran generator terhadap daya elektrik generator dengan kondisi massa benda (*m*4 = 0,15 kg) .

Gambar 4.14. Hubungan putaran generator terhadap arus ukur generator dengan kondisi massa benda (*m*4 = 0,2 kg) .

Gambar 4.15. Hubungan putaran generator terhadap daya elektrik generator dengan kondisi massa benda (*m*4 = 0,2 kg) .

Dari data pada Tabel (4.7), (4.8) dan Gambar (4.12 - 4.15) 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 .

* 1. **Perhitungan Efisiensi Sistem Prototipe Pembangkit**

Dalam 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.

**4.3.1 Perhitungan daya elektrik dan mekanik motor pada sistem**

Dalam 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 :

0,48 VA

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

sehingga ,

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.

rad/s

rad / s2

1,13 W

**4.3.2 Perhitungan daya elektrik dan mekanik generator sistem**

Dalam 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:

**4.3.3 Perhitungan efisiensi total sistem**

Untuk perhitungan efisiensi total sistem akan digunakan nilai dari data hasil perhitungan yang paling maksimum yaitu pada saat kondisi massa dan .

* efisiensi motor

................................................. (4-4)

- efisiensi sistem

................................................................... (4-5)

- efisiensi generator

........................................................... (4-6)

- efisiensi total sistem pembangkit

........................................................................... (4-7)

* 1. **Perbandingan Energi Pada Sistem Pembangkit**

Pada penelitian ini, akan dilihat perbandingan energi yang diserap oleh motor terhadap energi yang dihasilkan oleh generator sistem pembangkit. Sehingga dapat dilihat kemampuan dari pembangkit tersebut.

Sesuai dengan perancangan sistem prototipe pembangkit listrik tenaga gravitasi bumi motor dc akan dikondisikan aktif hanya 900 atau 1/4 putaran. Karena dalam 1 siklus putaran = 3600, sehingga daya yang diserap oleh motor dc menjadi :

**=**

= 0,12 W

Untuk perhitungan energi baik yang diserap maupun yang dihasilkan pembangkit akan digunakan waktu 1 jam. Adapun persamaan yang digunakan untuk perhitugan energi ialah :

Untuk nilai daya keluaran generator yang digunakan dalam perhitungan ini ialah daya yang memiliki nilai paling maksimal. Nilai daya keluaran generator yang paling maksimal ialah 0,278 W.

= 0,43 kWh

= 1 kWh

Dari hasil perhitungan energi tersebut dapat dilihat bahwa energi yang dihasilkan lebih besar terhadap energi yang diserap, sehingga pada perancangan ini terdapat energi bebas yang dihasilkan sebesar Eout – Ein = 1 - 0,43 = 0,57 kWh.