

# PERANCANGAN *LINEAR PERMANENT MAGNET GENERATOR* UNTUK MENGHASILKAN ENERGI SKALA KECIL

## DESIGN OF LINEAR PERMANENT MAGNET GENERATOR FOR PRODUCING SMALL SCALE ENERGY

T.R.Silalahi<sup>1</sup>, Ahmad Qurthobi<sup>2</sup>, I.P.Handayani<sup>3</sup>.

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Telkom University.

<sup>1</sup>teresilalahi@gmail.com, <sup>2</sup>qurthobi@telkomuniversity.ac.id, <sup>3</sup>iphandayani@telkomuniversity.ac.id

---

### ABSTRAK

Indonesia merupakan negara maritim dengan luas perairan 3.257.483 km<sup>2</sup>. Kondisi Indonesia yang didominasi oleh perairan atau pantai memiliki potensi energi alternatif terbarukan yang memanfaatkan energi ombak laut menjadi energi listrik. Salah satu pembangkit listrik yang berfungsi mengubah energi mekanik ombak menjadi energi listrik adalah *linear permanent magnet generator*. Pada penelitian ini telah dirancang purwarupa *linear permanent magnet generator* yang menggunakan magnet Neodymium dengan kekuatan magnet sebesar 0,55 Tesla dan kumparan tembaga dengan jumlah lilitan 10000, 20000, 33000, dan 43000. Proses simulasi gelombang dilakukan dengan simulator gelombang laut yang menghasilkan frekuensi 1,5 Hz dan amplitudo sebesar 30 mm, 40 mm, dan 50 mm. Tegangan keluaran rata-rata generator yang dihasilkan sebesar 6,3 volt, sampai 17 volt dengan jumlah lilitan dari 10000 sampai dengan 43000. Hambatan kawat kumparan terukur sebesar 0,97 k $\Omega$  sampai 3,47 k $\Omega$  dengan jumlah lilitan dari 10000 sampai dengan 43000. Hal ini menyebabkan rendahnya arus yang dihasilkan (kurang dari 8 mA) sehingga daya keluaran generator juga masih kecil ( $\approx$  15 mW). Muatan yang tersimpan dalam baterai selama dua jam juga masih kecil yaitu 0,724 mAh.

**Kata Kunci:** *Generator, Linear permanent magnet generator, induksi medan magnetik, simulator gelombang laut.*

---

### ABSTRACT

Indonesia is maritime country with 3,257,483 km<sup>2</sup> water area. This has a potential for renewable energy. One possible alternative is using linear generator which converts sea waves into electrical energy. This study has designed prototype of linear permanent magnet generator using Neodymium magnets with 0.55 Tesla magnetic strength and copper coil with 10000 to 43000 windings. The simulation of sea wave performed with sea wave simulator that generates frequency at 1.5 Hz and amplitude of 30 mm, 40 mm, and 50 mm. The output voltages of generator are 6.3 volt up to 17 volt for 10000 to 43000 windings, respectively. The resistance of coils are large between 0.97 k $\Omega$  and 3.47 k $\Omega$  for 10000 to 43000 windings, respectively. Those cause low currents which are less than 8 mA. This generator generates small output power ( $\approx$  15 mW) with capacity that can be stored in A3 battery for two hours is 0.724 mAh.

**Keywords:** *Generator, linear permanent magnet generator, magnetic induction, sea wave simulator*

---

#### 1. Pendahuluan

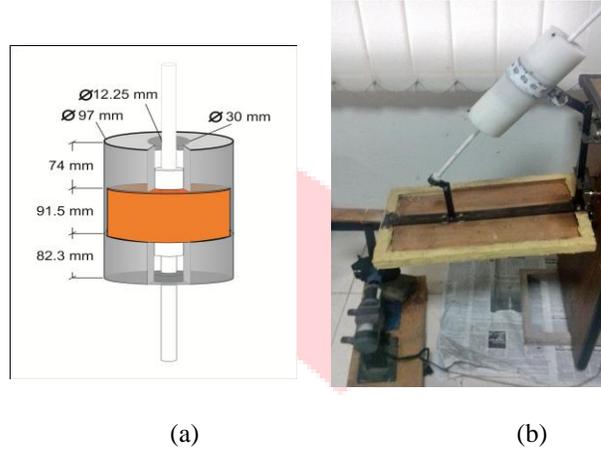
Indonesia merupakan negara kepulauan dengan luas perairan 3.257.483 km<sup>2</sup>[1]. Indonesia juga merupakan negara dengan panjang garis pantai terpanjang keempat di dunia yaitu sebesar 95.181 km<sup>2</sup> setelah Amerika Serikat (AS), Kanada dan Rusia[2]. Kondisi Indonesia yang didominasi oleh perairan atau pantai memiliki potensi energi alternatif terbarukan di laut. Salah satu potensi alternatif tersebut adalah energi ombak laut. Ombak laut terjadi karena adanya angin yang bertiup di permukaan laut. Ombak merupakan sumber energi yang tak terbatas dan tidak membutuhkan bahan bakar. Ombak mempunyai potensi energi yang dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan pembangkit listrik. Energi mekanik ombak akan dikonversikan menjadi energi listrik oleh generator. Salah satu pembangkit listrik yang berfungsi mengubah energi mekanik ombak menjadi energi listrik adalah *linear permanent magnet generator*.

*Linear permanent magnet generator* merupakan generator yang bergerak secara linier yang menggunakan prinsip induksi medan magnetik yang dapat menghasilkan tegangan dengan bantuan gelombang ombak. Ada dua komponen utama dalam *linear permanent magnet generator* yaitu kumparan dan magnet. Kumparan merupakan bagian yang diam dan magnet merupakan bagian yang bergerak secara linier[3]. Magnet bergerak dikarenakan adanya pelampung yang mendorong magnet untuk bergerak naik turun. Perubahan posisi pada magnet akan

menimbulkan perubahan fluks magnet dan garis garis medan magnet akan mengenai kumparan dan terjadi gaya gerak listrik induksi. Pada penelitian ini akan dirancang purwarupa *linear permanent magnet generator* dengan menggunakan sistem simulator gelombang laut. Diharapkan hasil penelitian skala laboratorium ini dapat memberikan gambaran untuk implementasi pembangkit listrik skala kecil.

## 2. Perancangan Sistem

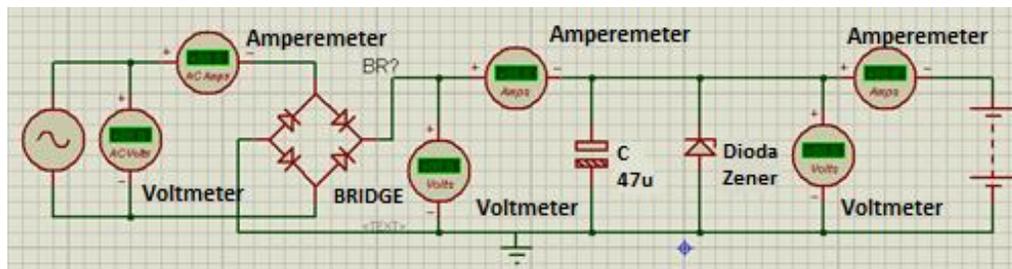
*Linear permanent magnet generator* terdiri dari beberapa bagian yaitu magnet, kumparan, dan papan penyangga. Berikut ini merupakan bentuk perancangan dan model perangkat sistem *linear permanent magnet generator*:



Gambar 1 (a) Perancangan tempat kumparan dan magnet (b) purwarupa *linear permanent magnet generator* yang dibuat

Kumparan merupakan bagian dari generator yang tidak bergerak atau diam. Kumparan yang digunakan dengan diameter kawat tembaga 0,2 mm. Kumparan yang dibuat terdiri dari beberapa jumlah lilitan yaitu 10000 lilitan, 20000 lilitan, 33000 lilitan, dan 43000 lilitan. Magnet merupakan bagian dari generator yang bergerak linier. Magnet berada di tengah kumparan dan bergerak naik turun sesuai dengan papan penyangga. Magnet yang digunakan dalam penelitian ini adalah magnet Neodymium berbentuk tabung dengan diameter 25 mm dan ketebalan 5 mm. Magnet yang digunakan sebanyak 15 batang magnet dengan kekuatan total sebesar 0,55 Tesla. Papan penyangga digunakan untuk menggerakkan magnet saat simulator gelombang laut berputar.

Simulator gelombang laut merupakan mekanisme mekanik untuk mensimulasikan pergerakan ombak. Simulator gelombang laut memiliki frekuensi sebesar 1,5 Hertz dengan ketinggian 30 mm, 40 mm, dan 50 mm. Saat simulator gelombang laut beresilasi, papan penyangga akan bergerak secara vertikal. Pergerakan papan penyangga akan mengakibatkan magnet bergerak secara linier. Magnet akan bergerak naik saat penyangga mendorong keatas dan bergerak turun saat penyangga bergerak ke bawah. Pergerakan naik turun magnet menyebabkan terjadinya perubahan fluks magnet dan terjadi gaya gerak listrik pada kumparan dan menghasilkan daya. Tegangan dan arus yang dihasilkan diukur dengan menggunakan multimeter digital. Daya yang dihasilkan akan masuk ke rangkaian penyearah dan regulator serta disimpan dalam baterai. Rangkaian pengisian baterai dan pengukuran tegangan serta arus dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 Rangkaian pengisian baterai

Rangkaian terdiri dari rangkaian penyearah dan rangkaian regulator. Rangkaian penyearah yaitu terdiri dari jembatan dioda dan kapasitor elektrolit 47uF 50V. Regulator yaitu dioda Zener 5V sebagai pengatur tegangan yang mengatur tegangan keluaran menjadi 5 volt. Daya dari dioda Zener akan disimpan di dalam baterai. Baterai yang digunakan adalah baterai A3 sebanyak dua baterai. Kapasitas dari satu baterai adalah 1,2 volt dan 750 mAh. Selain menggunakan baterai, penyimpanan muatan juga menggunakan kapasitor. Rangkaian yang digunakan sama dengan rangkaian pengisian baterai hanya baterai diganti dengan kapasitor 4700uF dan resistor 2 kΩ.

### 3. Pengujian dan Analisa

Generator yang digunakan memiliki empat kumparan yang berbeda. Kumparan yang digunakan memiliki diameter kawat tembaga yang sama yaitu 0,2 mm. Jumlah lilitan kumparan yang digunakan yaitu 10000 lilitan, 20000 lilitan, 33000 lilitan, dan 43000 lilitan. Setiap kumparan memiliki hambatan kawat yang berbeda-beda sesuai dengan jumlah lilitannya. Semakin besar jumlah lilitan semakin besar nilai hambatannya. Diameter dalam dan luar kumparan setiap jumlah lilitan yang digunakan adalah seragam sedangkan tinggi dari kumparan berbeda-beda sesuai dengan jumlah lilitannya. Nilai hambatan dan tinggi kumparan dari setiap jumlah lilitan dapat dilihat pada tabel 1.

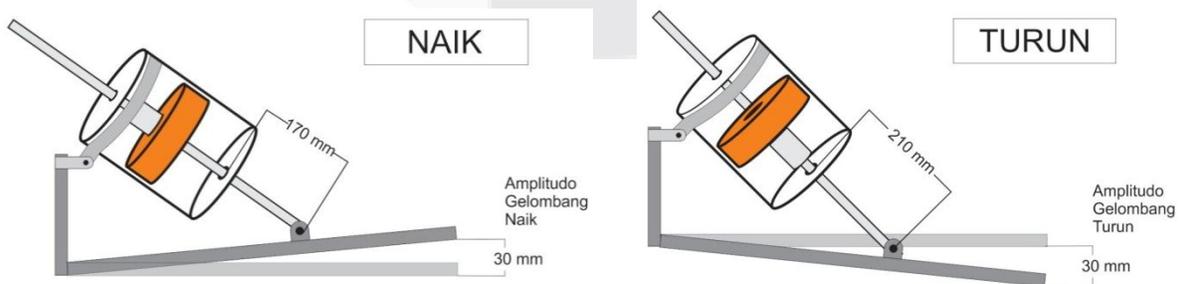
Tabel 1 Spesifikasi kumparan

Jumlah Lilitan	10000	20000	33000	43000
Hambatan	0,97 kΩ	1,93 kΩ	2,5 kΩ	3,47 kΩ
Tinggi Kumparan	35 mm	70 mm	74 mm	110 mm
Diameter dalam kumparan	30 mm	30 mm	30 mm	30 mm
Diameter luar kumparan	80 mm	80 mm	80 mm	80 mm

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh data rata-rata kecepatan simulator gelombang laut dalam satuan *rotation per minute* (rpm) yaitu 92,84. Untuk mengetahui frekuensi gelombang pada simulator gelombang laut maka kecepatan simulator gelombang laut diubah ke frekuensi dengan menggunakan rumus rpm dibagi dengan 60 maka frekuensi gelombang yang didapat sebesar 1,55 Hertz. Kecepatan gelombang laut rata-rata adalah 2 sampai 10 knot dengan panjang gelombang 10 m dengan konversi 1 knot adalah 0,51 m/s. Frekuensi gelombang laut di perairan Jawa Barat adalah 0,1 Hz sampai 0,5 Hz [4]. Dari hasil pengamatan selama pengujian diperoleh data seperti tabel 2 yang menunjukkan seberapa panjang tangkai magnet bergeser saat pelampung bergerak dengan amplitudo sebesar 30 mm, 40 mm, dan 50 mm.

Tabel 2 Pergeseran Tangkai

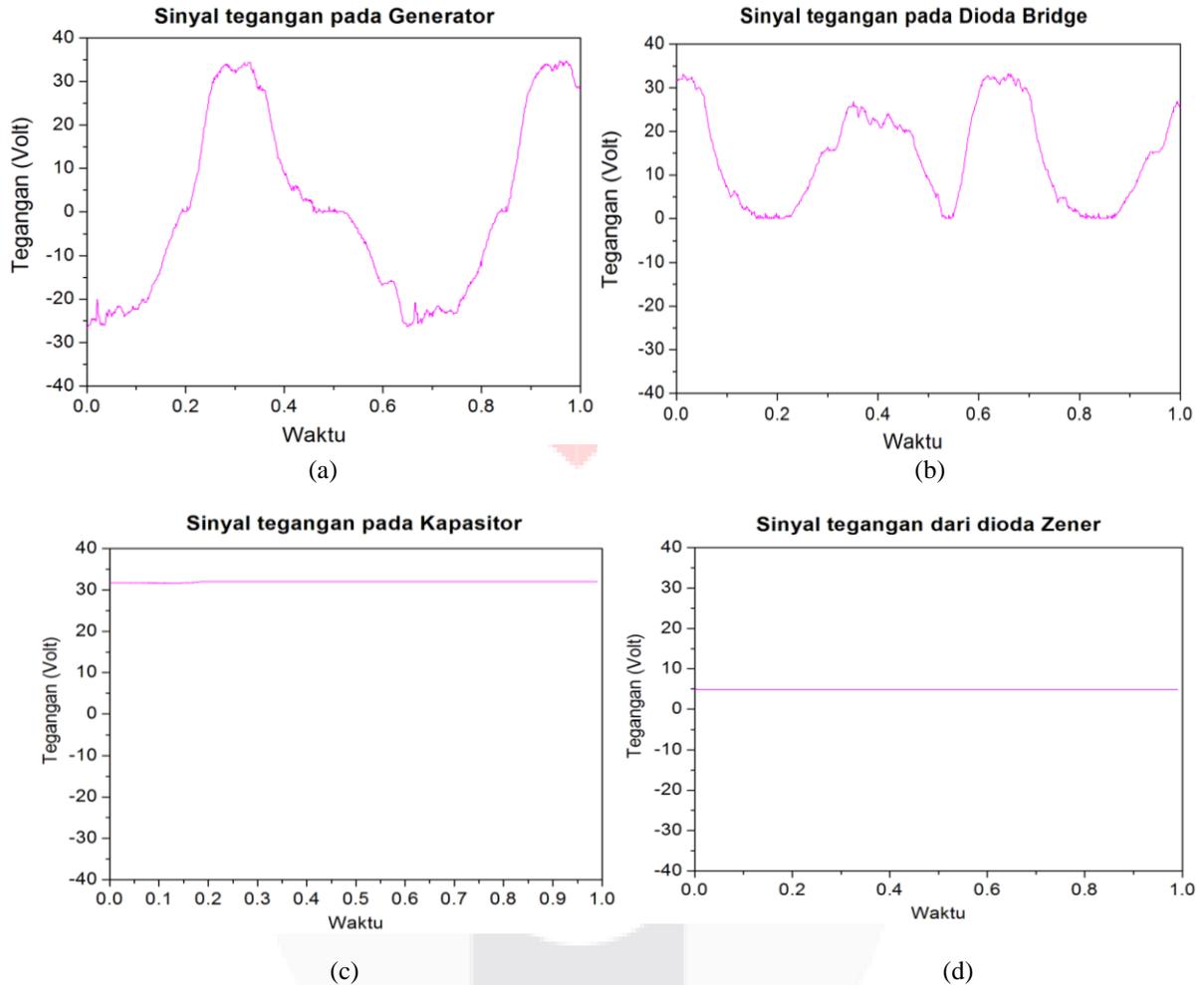
Amplitudo	Panjang Tangkai Ketika Gelombang turun (mm)	Panjang Tangkai Ketika Gelombang naik (mm)	Pergeseran Tangkai (mm)
30 mm	210	170	40
40 mm	208	158	50
50 mm	219	159	60



Gambar 3 Pergeseran tangkai

### 3.1 Sinyal tegangan keluaran dari setiap komponen

Berikut ini merupakan gambar sinyal tegangan keluaran dari generator, jembatan dioda, kapasitor dan dioda Zener untuk jumlah lilitan 20000 dan amplitudo 50 mm.

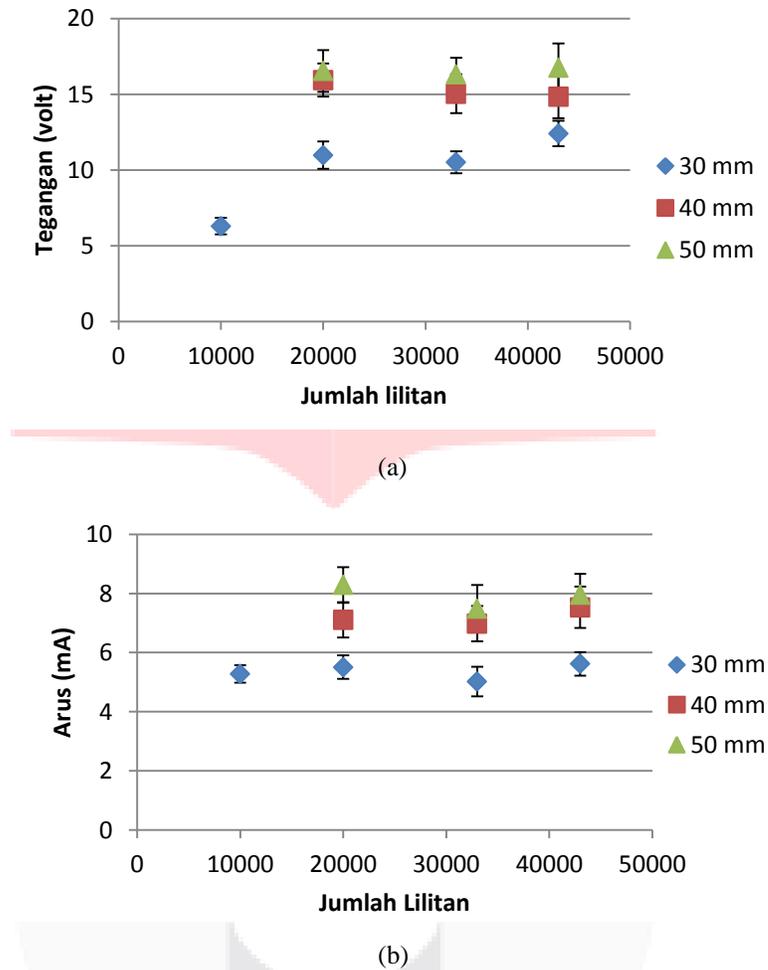


Gambar 4 (a) Sinyal tegangan dari generator langsung (b) Sinyal tegangan dari jembatan dioda langsung (c) Sinyal tegangan dari kapasitor langsung (d) Sinyal tegangan dari dioda Zener langsung

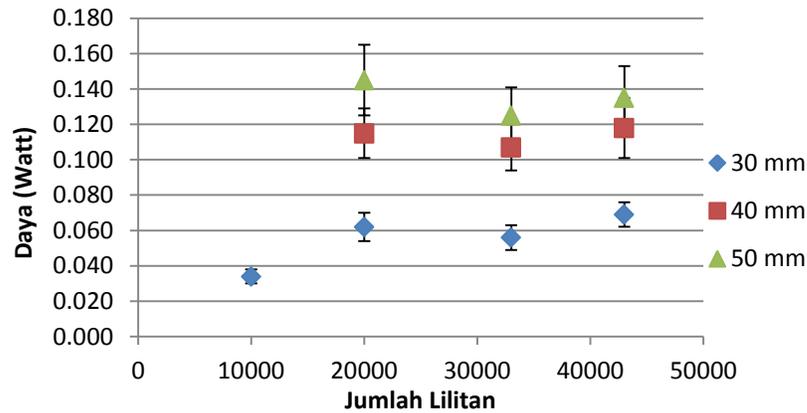
Pada gambar 4a sinyal tegangan dari generator berfluktuasi di nilai positif (32 volt) dan negatif (-32 volt). Pada gambar 4b dapat diamati tegangan minimum yaitu 0 dan tegangan maksimum sekitar 32 volt. Rangkaian jembatan dioda telah berhasil mengubah sinyal AC menjadi sinyal DC. Sinyal tegangan pada jembatan dioda masih berfluktuatif dan akan distabilkan di kapasitor. Pada gambar 4c sinyal tegangan pada kapasitor telah stabil di nilai 32 volt. Pada gambar 4d tegangan akan diatur keluarannya oleh dioda Zener menjadi 5 volt. Pada gambar sinyal tegangan dioda Zener dapat diamati bahwa nilai tegangan telah diatur menjadi 4,9 volt.

### 3.2 Pengukuran tegangan, arus, dan daya keluaran *linear permanent magnet generator*

Berikut ini merupakan grafik hubungan tegangan, arus, dan daya dari generator langsung terhadap jumlah lilitan dan amplitudo



Gambar 5 (a) Tegangan rms dari generator langsung (b) Arus rms dari generator langsung

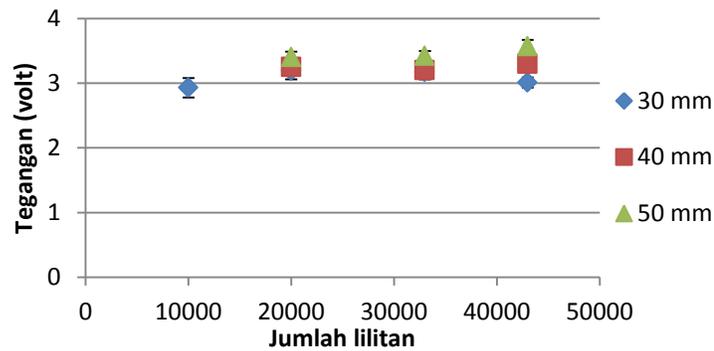


Gambar 6 Daya rms dari generator langsung

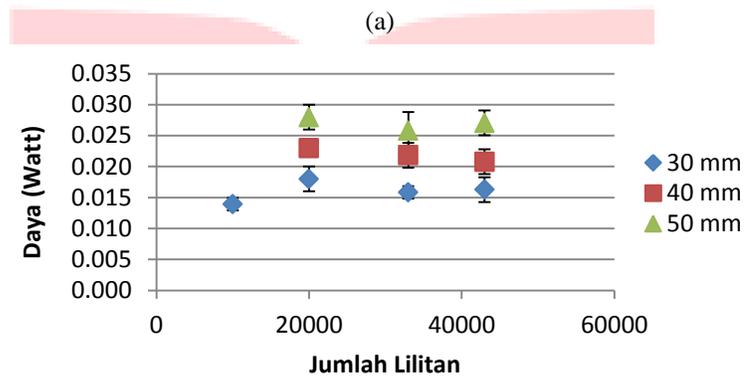
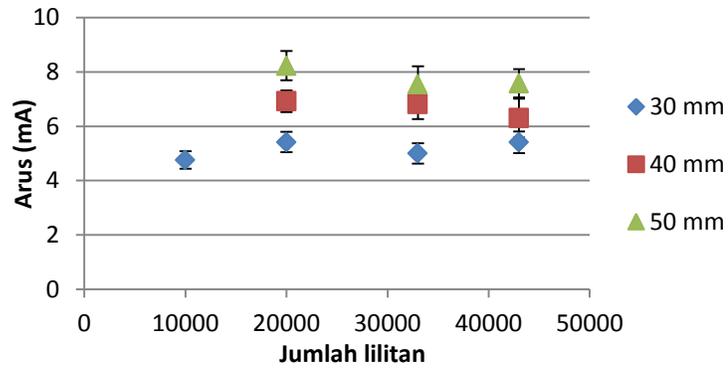
Pada gambar 5a untuk amplitudo 30 mm, tegangan naik dengan menambahkan lilitan dari 10000 sampai 43000. Pada jumlah lilitan 33000 nilai tegangan lebih kecil 0,47 volt dibandingkan lilitan 20000. Hal ini disebabkan kerapatan pada setiap lilitan yang berbeda dan tinggi kumparan yang berbeda sehingga medan magnet tidak mencakup seluruh kumparan. Untuk amplitudo 40 mm dan 50 mm nilai tegangan paling besar pada jumlah lilitan 20000. Hal ini disebabkan dengan tinggi kumparan pada 20000 lilitan magnet dapat menembus keluar kumparan.

Pada gambar 5b arus paling besar terdapat pada jumlah lilitan 20000. Hal ini disebabkan nilai hambatan kumparan 20000 lilitan lebih kecil dibandingkan dengan jumlah lilitan 33000 dan 43000. Pada jumlah lilitan 10000 nilai hambatan kumparan lebih kecil dibandingkan jumlah lilitan 20000 tetapi nilai arus pada 10000 lilitan lebih kecil karena jumlah lilitan yang sedikit dan area yang terkena fluks juga sedikit.

Pada gambar 6 daya paling besar yang dihasilkan dari generator langsung adalah 0,15 Watt dengan jumlah lilitan 20000 dan amplitudo 50 mm. Hal ini dikarenakan medan magnet dapat mencakup seluruh kumparan sedangkan pada jumlah lilitan 33000 dan 43000 magnet tidak dapat mencakup seluruh kumparan sehingga bagian yang tidak terkena fluks magnet hanya menjadi beban. Berikut ini merupakan grafik hubungan tegangan, arus dan daya generator saat baterai terpasang terhadap jumlah lilitan.



Gambar 7 Tegangan rms dari keluaran generator saat baterai terpasang



(a) (b)  
Gambar 8 (a) ) Arus rms (b) Daya rms dari keluaran generator saat baterai terpasang

Berdasarkan gambar 7 tegangan keluaran dari generator sekitar 3,5 volt nilai ini lebih kecil dibandingkan tegangan keluaran langsung dari generator. Hal ini dikarenakan baterai sudah terpasang. Pada gambar 8a arus keluaran generator tidak turun telalu jauh jika dibandingkan dengan arus keluaran generator langsung. Daya pada gambar 8b daya keluaran generator paling besar terdapat pada jumlah lilitan 20000 dengan amplitudo 50 mm yaitu 28 mW. Hal ini disebabkan karena nilai tegangan yang terukur sama dengan baterai sedangkan arus tetap dalam orde mA.

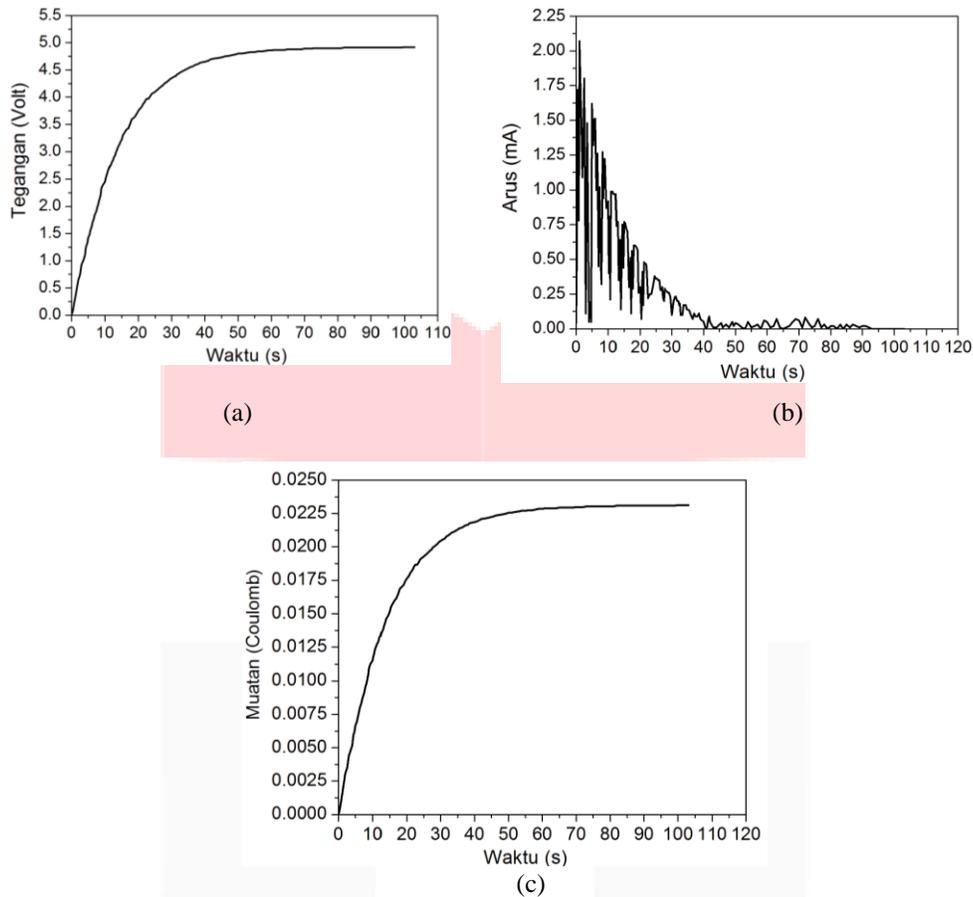
Untuk mendapatkan tegangan yang lebih besar maka diperlukan penggabungan beberapa generator dengan tinggi kumparan disesuaikan sehingga magnet dapat mencakupi seluruh kumparan. Nilai arus yang didapat dari hasil eksperimen juga masih kecil yaitu 5 mA-8mA. Untuk mendapatkan nilai arus yang lebih besar dapat memperbesar diameter kawat tembaga. Semakin besar diameter kawat tembaga, resistansi kawat semakin kecil sehingga arus semakin besar.

### 3.3 Energi yang dihasilkan

Penyimpanan muatan dari generator menggunakan kapasitor dan baterai. Penggunaan kapasitor dilakukan karena arus yang dihasilkan sangat kecil yaitu 5 mA-8 mA sedangkan kebanyakan baterai mempunyai kapasitas yang besar yaitu 750 mAh

### 3.3.1 Muatan yang tersimpan di kapasitor

Berikut ini merupakan grafik sinyal tegangan dan arus pengisian serta muatan yang tersimpan pada kapasitor terhadap waktu. Generator yang digunakan dengan jumlah lilitan 20000 lilitan dan amplitudo 30 mm



Gambar 9 (a) Sinyal tegangan saat pengisian (b) Sinyal arus saat pengisian (c) Muatan yang tersimpan pada kapasitor

Berdasarkan gambar 9a grafik tegangan terhadap waktu, tegangan pada kapasitor mulai dari nol dan tegangan naik secara eksponensial mencapai nilai tegangan 4,92 volt. Berdasarkan hasil percobaan waktu yang dibutuhkan untuk pengisian kapasitor sampai penuh adalah 103 detik. Kapasitor berhenti mengisi pada saat tegangan di kapasitor sama dengan tegangan dioda Zener yaitu 4,92 volt. Tegangan pada kapasitor saat  $t$  detik dinyatakan dalam persamaan 1

$$V_c(t) = V_{in}(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (1)$$

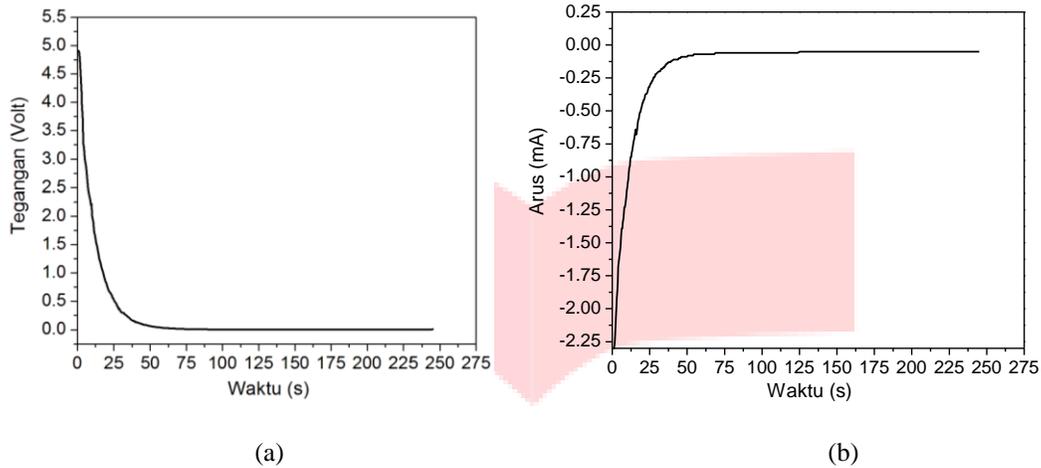
Dimana  $V_c$  = tegangan pada kapasitor (volt),  $V_{in}$  = tegangan *input* (volt),  $t$  = konstanta waktu (s),  $R$  = hambatan ( $\Omega$ ),  $C$  = kapasitansi (Farad). Disaat konstanta waktu pengisian adalah 1T yaitu  $RC$  ( $R = 2120 \Omega$  dan  $C = 4700 \mu F$ ) maka  $V_c$  adalah 3,1 volt. Pada gambar 9a disaat 1 T yaitu 9,9 detik, tegangan pada kapasitor terisi 2,45 volt. Nilai perhitungan tegangan yang tersimpan di kapasitor selama 1 T dengan percobaan berbeda hal ini disebabkan oleh faktor kualitas dari kapasitor.

Berdasarkan gambar 9b grafik arus terhadap waktu dapat diamati nilai arus diawal sekitar 2,20 mA dan menuju nol saat tegangan yang tersimpan pada kapasitor semakin besar. Arus pengisian kapasitor dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan

$$I_c = \frac{E}{R} e^{-t/RC} \quad (2)$$

dimana  $I_c$  = arus pada kapasitor (ampere) ,  $E$  = tegangan pada sumber (volt). Disaat  $t = 0$  maka nilai  $I$  adalah  $\frac{E}{R}$  , semakin besar nilai  $t$  maka nilai  $I$  akan menuju nilai nol. Arus pada saat pengisian kapasitor adalah fluktuatif. Hal ini disebabkan arus tidak diatur agar menjadi konstan karena arus dari generator kecil.

Berdasarkan gambar 9c muatan yang tersimpan pada kapasitor adalah 0,023 Coulomb. Nilai muatan pada kapasitor dapat ditentukan dengan persamaan  $Q = CV$ , dengan  $Q$  adalah muatan pada kapasitor,  $C$  adalah kapasitansi kapasitor dan  $V$  adalah tegangan pada kapasitor. Gambar 10 merupakan grafik sinyal tegangan dan arus pengosongan kapasitor terhadap waktu



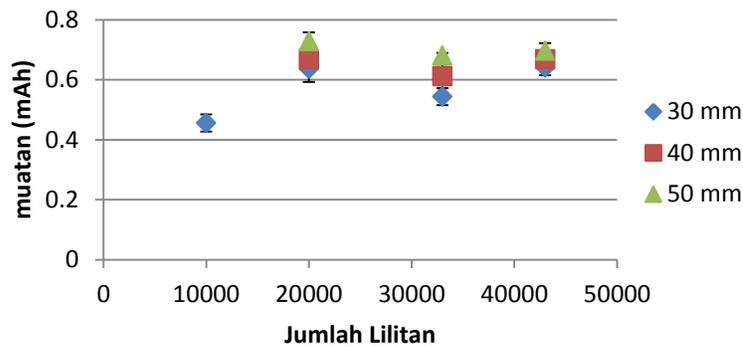
Gambar 10 (a) Sinyal tegangan pada saat pengosongan kapasitor (b) Sinyal arus pada saat pengosongan kapasitor

Berdasarkan gambar 10a grafik tegangan terhadap waktu saat pengosongan dapat diamati bahwa tegangan pada kapasitor turun dari 4,92 volt sampai kapasitor kosong. Grafik arus terhadap waktu saat pengosongan kapasitor dapat diamati bahwa arus pada kapasitor saat mulai pengosongan yaitu -2,23 mA sesuai dengan persamaan arus saat pengosongan yaitu

$$I_c = -\frac{E}{R} e^{-t/RC} \tag{3}$$

### 3.3.2 Muatan yang tersimpan di baterai

Muatan diukur berdasarkan dari nilai arus yang tersimpan pada baterai selama dua jam. Gambar 11 merupakan muatan yang tersimpan di baterai setelah pengisian selama dua jam:



Gambar 11 Muatan yang tersimpan di baterai setelah pengisian selama 2 jam

Berdasarkan gambar 11 nilai muatan yang tersimpan paling besar terdapat pada jumlah lilitan 20000 lilitan dengan amplitudo 50 mm yaitu sebesar 0,724 mAh. Arus rata-rata pengisian baterai adalah 8 mA. Untuk pengisian baterai sampai penuh dibutuhkan waktu sekitar 94 jam. Pada penelitian ini proses pengisian baterai dilakukan selama dua jam dan baterai hanya terisi sebesar 0,09 % dari kapasitas total (750mAh).

Berdasarkan gambar 9c muatan yang tersimpan pada kapasitor adalah 0,023 coulomb. Muatan yang tersimpan pada kapasitor diubah ke dalam satuan mAh maka muatan yang tersimpan dalam kapasitor adalah 0,00638 mAh. Dimana 1 Ah = 3600 coulomb. Muatan pada kapasitor yang tersimpan selama dua jam adalah 0,013 mAh.

Pada generator 20000 lilitan dan amplitudo 30 mm, muatan yang tersimpan pada baterai selama dua jam adalah 0,636 mAh. Muatan yang tersimpan di kapasitor lebih kecil dibandingkan dengan muatan yang tersimpan di baterai. Hal ini disebabkan oleh muatan total kapasitor yang lebih kecil dibandingkan dengan muatan baterai, dibutuhkan 49 kapasitor agar nilainya sama dengan baterai.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan pada perancangan *linear permanent magnet generator* untuk menghasilkan energi skala kecil dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. *Linear permanent magnet generator* menghasilkan daya sebesar 15 mW.
2. Faktor yang mempengaruhi daya keluaran *linear permanent magnet generator* adalah luas daerah yang terkena fluks magnetik dan hambatan kawat tembaga.
3. Desain generator harus menyesuaikan dengan kondisi tinggi gelombang laut sehingga medan magnet dapat mencakupi seluruh area kumparan. Pada perancangan ini yang paling efektif terdapat pada jumlah lilitan 20000.
4. Proses pengisian baterai membutuhkan waktu yang lama dikarenakan arus yang dihasilkan generator sangat kecil ( $\approx 8$  mA).
5. Muatan yang tersimpan pada baterai selama dua jam adalah 0,724 mAh dan muatan yang tersimpan di kapasitor adalah 0,013 mAh.

#### REFERENSI

- <sup>[1]</sup> Kementerian bidang kesejahteraan rakyat . 2009. *Luas Perairan Indonesia*. <http://indonesia.go.id/in/kementerian/kementerian-koordinator/kementerian-koordinator-bidang-kesejahteraan-rakyat/79-kementerian-negara-perencanaan-pembangunan-nasiona-sarana-dan-prasarana>
- <sup>[2]</sup> Kementerian dan Kelautan Perikanan Republik Indonesia. 2009. *Garis Pantai Indonesia Terpanjang Keempat di Dunia*. [http://www.kkp.go.id/index.php/arsip/c/1048/Garis-Pantai-Indonesia-Terpanjang-Keempat-di Dunia/?category\\_id=](http://www.kkp.go.id/index.php/arsip/c/1048/Garis-Pantai-Indonesia-Terpanjang-Keempat-di-Dunia/?category_id=)
- <sup>[3]</sup> Danielsson, Oskar. 2003. *Design of linear generator for wave energy plant*. Engineering Physics Programme Uppsala University School of Engineering. Uppsala.
- <sup>[4]</sup> BMKG. 2014. *Rata Rata Mingguan Gelombang laut*. [http://maritim.bmkg.go.id/index.php/main/gelombang\\_rata\\_mingguan#](http://maritim.bmkg.go.id/index.php/main/gelombang_rata_mingguan#)
- <sup>[5]</sup> Buchmann, Isidor. 2001. *Batteries in a Portable World 2nd*. Cadex Electronic Inc.
- <sup>[6]</sup> Tipler. 1991. *PHYSICS for scientiest and engineers*. Dr Bambang Soegijono. Jakarta: Erlangga.
- <sup>[7]</sup> Rees. Lawrence. 2007. *Lesson 6 - Capacitors and capacitance*. Brigham Young University. [www.physics.byu.edu/faculty/rees/220/book/lesson6.pdf](http://www.physics.byu.edu/faculty/rees/220/book/lesson6.pdf)
- <sup>[8]</sup> Ramdhani, Mohamad. 2008. *Rangkaian Listrik*. Bandung: Erlangga.
- <sup>[9]</sup> Zuhail, 1995. *Dasar Tenaga Listrik dan elektronika daya*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- <sup>[10]</sup> Boylestad, Robert. Nashelsky, Louis. 1999. *Electronic Devices and Circuit Theory 7<sup>th</sup>*. New Jersey. Prentice Hall.
- <sup>[11]</sup> Polinder, H. Mueller, M.A. Scuto, M. Goden de Sousa Prado, M. *Linear generator systems for wave energy conversion*. Proceedings of the 7th European Wave and Tidal Energy Conference, Porto, Portugal, 2007
- <sup>[12]</sup> Simpson, Chester. 2011. *Characteristics of Rechargeable Batteries*. Dallas: Texas Instruments.