

Pembuatan Prototype Generator Linier 1 VA Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Air Laut

Felix Hariyanto Kwan, Heri Saptono, Hanny Hosiana Tumbelaka
Program Studi Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra
Jl.Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236, Indonesia

E-Mail: felixhariyantokwan@gmail.com ; herisw@ petra.ac.id ; tumbekh@petra.ac.id

Abstrak – Pemanfaatan gelombang air sebagai penggerak utama pembangkit listrik saat ini sedang banyak diteliti, untuk itu dibuat suatu prototype generator linier sebagai pembangkit listrik tenaga ombak.

Gelombang yang dihasilkan oleh ombak laut merupakan gelombang sinusoidal. Generator linier merupakan generator yang bekerja dengan sistem translasi yang menangkap gelombang ombak sebagai penggerak utama. Dengan adanya gelombang ombak ini, maka energi mekanik dari gelombang ombak dapat dikonversi menjadi energi listrik dengan adanya translator. Terdapat 3 variasi susunan magnet yang digunakan, yaitu susunan magnet Konvensional, susunan magnet Halbach Array, dan susunan magnet Eksperimen.

Berdasarkan hasil pengujian, tegangan terhadap frekuensi yang paling besar dihasilkan oleh susunan magnet Halbach Array.

Kata Kunci— Prototype Generator Linier, Magnet, Ombak

I. PENDAHULUAN

Potensi pengembangan ilmu pengetahuan dengan memanfaatkan gelombang dan arus laut sangatlah besar pemanfaatannya di Indonesia. Penelitian linear permanent magnet generator untuk pembangkit listrik tenaga ombak ini dilakukan untuk memanfaatkan energi alam yang tersedia secara cuma – cuma [1]. Ada beberapa tipe generator yang memanfaatkan energi gelombang laut sebagai penggerak utama, diantaranya adalah generator yang menggunakan turbin, oscilating water column, serta point absorber. Prinsip kerja dari point absorber ini adalah mengkonversi gelombang air laut menjadi gerak translasi, maka itu dibutuhkan linear generator untuk mengkonversi gerak translasi menjadi energi listrik [2].

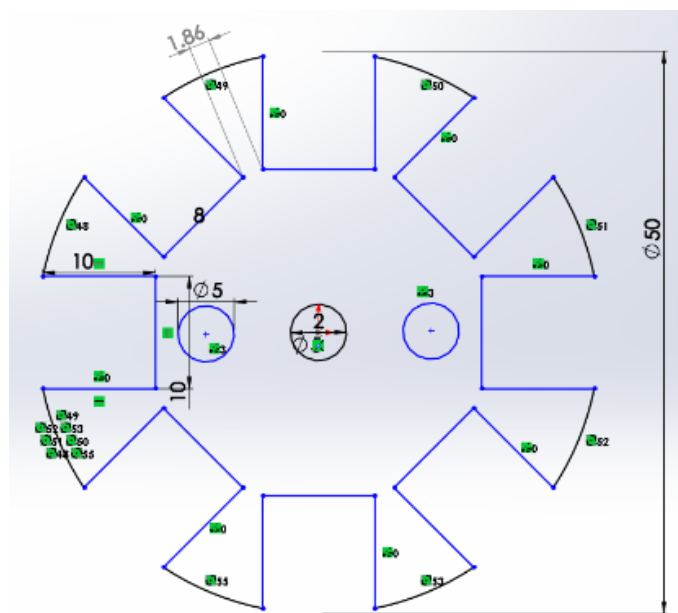
Generator konvensional dibuat dengan memanfaatkan energi mekanik dari putaran mesin. Berbeda dengan generator konvensional pada umumnya, linear permanent magnet generator menghasilkan energi secara linier tanpa menggunakan komponen - komponen perantara, seperti roda gigi, baut, ataupun poros engkol. Secara umum, beberapa keuntungan dari model linear permanent magnet generator ini adalah struktur yang sederhana dan memiliki ketahanan yang relatif panjang dibandingkan dengan generator konvensional pada umumnya. Disamping itu juga, peng-eliminasian komponen – komponen perantara ini juga membantu mengurangi biaya dan membuat sistem struktur yang lebih ringkas [3]. Kelebihan lain dari generator linier ini adalah, daya yang dihasilkan dari gelombang air laut dapat mencapai 2 – 3 kW dibandingkan dengan solar cell yang hanya berkisar 0,1 - 0,3 kW dan energi angin yang hanya berkisar 0,5 kW [4].

Energi alternatif yang bersih dan berjangka panjang merupakan hal yang atraktif seiring dengan harga bahan bakar fosil yang semakin meningkat dan berdampak buruk pada sistem energi konvensional. Hal ini mengerahkan sektor energi terbarukan untuk mengembangkan berbagai macam alternatif untuk menggantikan energi konvensional. Dalam tahun terakhir ini, banyak negara berkontribusi untuk mengerahkan energi terbarukan dengan menggunakan pembangkit listrik tenaga angin maupun solar cell [5].

II. PERENCANAAN DESAIN ALAT

A. Translator

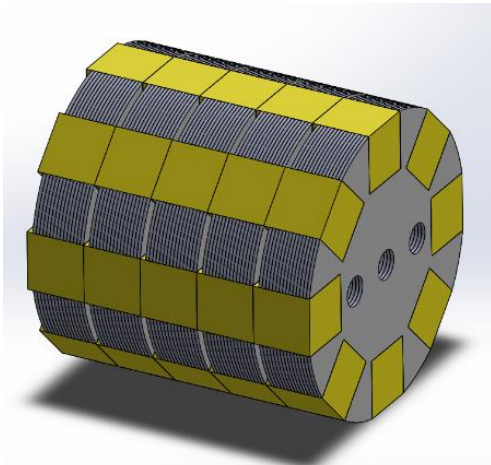
Pada tahap ini dimulai dengan menggambar desain yang dapat dilihat pada gambar 3.3 dan merancang translator yang akan digunakan. Translator dengan diameter 5 cm ini dibuat sesuai dengan stator yang akan dipakai. Setelah translator didesain, plat dengan tebal 0,6 mm dipotong dengan menggunakan mesin laser. Ada 8 buah lubang yang berbentuk kotak disediakan sebagai tempat magnet Neodymium dengan rusuk 1 cm. Serta terdapat 3 buah lubang dengan diameter 5 mm untuk tempat baut agar translator tidak bergerak. 1 buah magnet memerlukan kurang lebih 15 lembar plat yang telah dipotong.



Gambar 1. Tampak Atas Desain Translator dengan 8 Buah Lubang Magnet

Pada Gambar 2 halaman 2, dapat terlihat desain susunan dari Translator yang terdiri dari plat yang sudah dipotong dan disusun, serta magnet yang sudah disusun pada susunan plat.

Warna kuning merupakan bentuk magnet, sedangkan warna abu – abu merupakan tampak dari susunan translator.



Gambar 2. Tampak Desain Translator dengan Susunan Magnet yang Sudah Terpasang

B. Stator

Pada tahap ini, stator diambil dari motor AC 1 fase dengan spesifikasi:

Tabel 1. Spesifikasi Stator AC 1 Fase

Jumlah Kutub	6 Buah
Kumparan Utama	3 Buah
Kumparan Bantu	3 Buah
Diameter Dalam	5 cm
Diameter Luar	9,7 cm
Jumlah Lilitan Kumparan	750 putaran
Diameter Kawat	0.2 mm

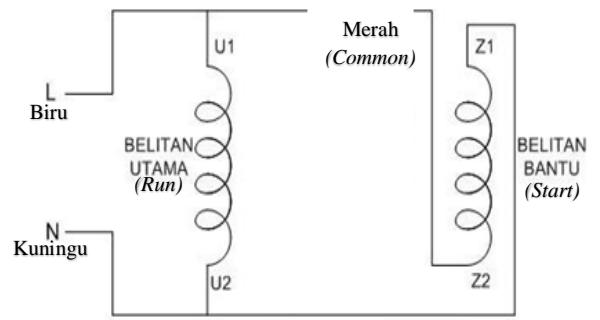
Tabel 2. Hasil Pengukuran Resistansi dan Impedansi Stator AC 1 Fase

	Resistansi (Ω)	Impedansi (Henry)
<i>Common</i>	735 Ω	2 H
<i>Run</i> (Kumparan Utama)	302.5 Ω	783.5 mH
<i>Start</i> (Kumparan Bantu)	432 Ω	1.1 H

Tabel 2 digunakan untuk menentukan kumparan utama dan kumparan bantu saat melakukan pengukuran terhadap resistansi dan impedansi apabila warna kabel tidak sama.



Gambar 3. Tampak Atas Stator



Gambar 4. Single Line Stator AC 1 Fase

Kumparan utama (*Run*) merupakan kabel berwarna biru dan kuning, kumparan bantu (*Start*) merupakan kabel berwarna merah dan kuning, sedangkan kabel merah dan kuning (*Common*) merupakan hubungan antara kumparan dan kumparan bantu.

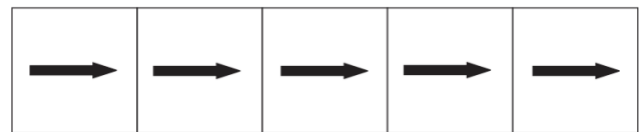
C. Susunan Magnet

Magnet yang digunakan adalah jenis magnet *Neodymium* yang termasuk dalam kategori magnet Ferromagnetik.

Susunan magnet yang digunakan adalah, susunan magnet konvensional, susunan magnet *Halbach Array*, dan susunan magnet eksperimen.

- Susunan Magnet Konvensional

Susunan yang ujung utaranya disusun sejajar secara vertikal.



Gambar 5. Susunan Magnet Konvensional

- Susunan Magnet *Halbach Array*

Susunan yang ujung utaranya diputar 90° dengan susunan selanjutnya, sehingga medan magnet yang dihasilkan menjadi lebih besar.



Gambar 6. Susunan Magnet *Halbach Array*

- Susunan Magnet Eksperimen

Susunan yang ujung utaranya diputar 180° dengan susunan magnet selanjutnya.



Gambar 7. Susunan Magnet Eksperimen

D. Perhitungan Perencanaan Beban

$$\begin{aligned} \text{Daya output} &= 1\text{VA} \\ V_{\text{MIN}} &= 5\text{ V}_{\text{AC}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{MAX} &= 12 V_{AC} \\ I_{MAX} &= P / V_{MIN} \\ &= 1 / 5 \\ &= 0,2 A \\ I_{MIN} &= P / V_{MAX} \\ &= 1 / 12 \\ &= 0,083 A \end{aligned}$$

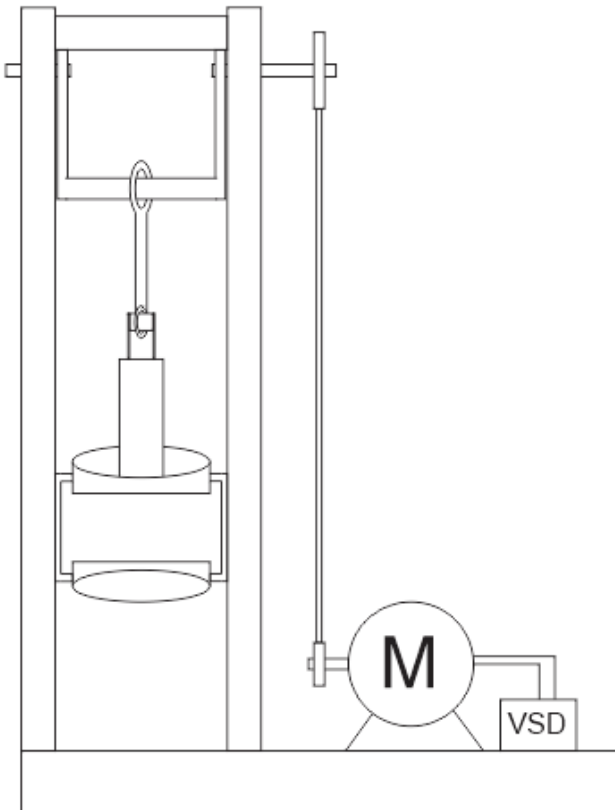
$$\begin{aligned} R_{MAX} &= V / I_{MIN} \\ &= 12 / 0.083 \\ &= 144 \Omega \\ R_{MIN} &= V / I_{MAX} \\ &= 5 / 0,2 \\ &= 25 \Omega \end{aligned}$$

Daya *output* sebesar 1VA dengan tegangan antara 5 – 12 V_{AC} dihasilkan dengan frekuensi antara 2 - 6 Hz. Dengan arus minimum sebesar 0,083 Ampere dan arus maksimum sebesar 0,2 Ampere. Kemudian dipilih resistor sebesar 120 Ω karena masuk dalam range resistansi antara 25 Ω - 144 Ω dari perhitungan pembebanan.

$$\begin{aligned} P_{MAX} &= I_{MAX}^2 \cdot R \\ &= (0,2)^2 \cdot 120 \\ &= 4,8 W \end{aligned}$$

Untuk daya resistor yang dipakai harus lebih kecil dari 4,8 Watt.

E. *Perangkaian Alat*



Gambar 8. Rangkaian Generator Linier

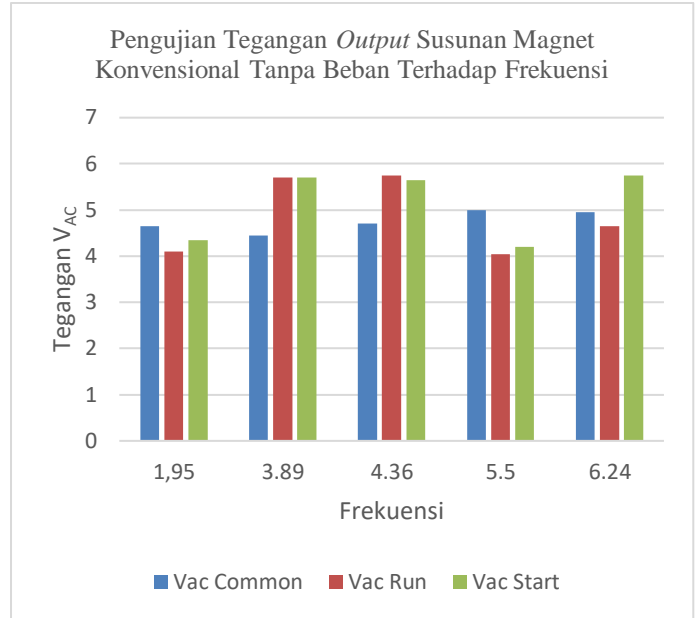
Penggerak mula dari generator ini adalah motor listrik yang dilengkapi dengan menggunakan *Variable Speed Drive*

untuk mengkonversi gerakan dari rotasi menjadi translasi sebagai simulasi dari gerakan ombak.

III. PENGUJIAN SISTEM DAN ANALISA

A. *Pengujian Tegangan Beban Kosong*

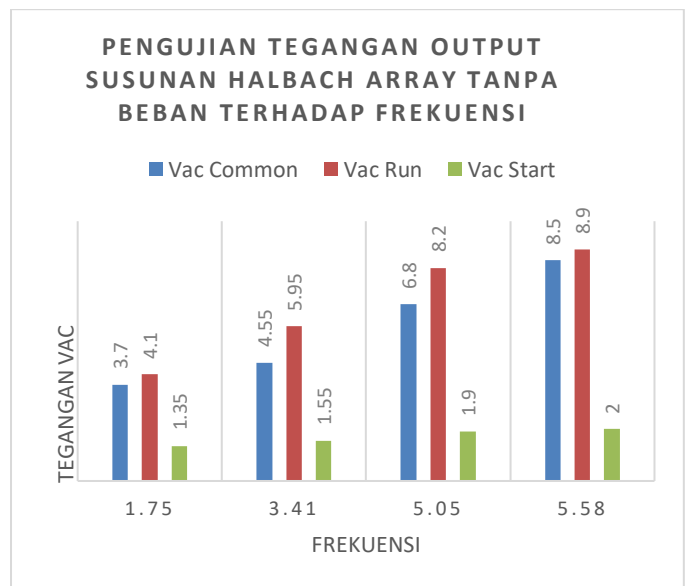
- Pengujian Tegangan Beban Kosong Susunan Magnet Konvensional



Gambar 9. Grafik Pengujian Tegangan *Output* Susunan Magnet Konvensional Tanpa Beban Terhadap Frekuensi

Dari gambar 9, terlihat bahwa semakin besar frekuensi yang diberikan pada translator, semakin besar juga tegangan yang dihasilkan oleh generator linier.

- Pengujian Tegangan Beban Kosong Susunan Magnet *Halbach Array*

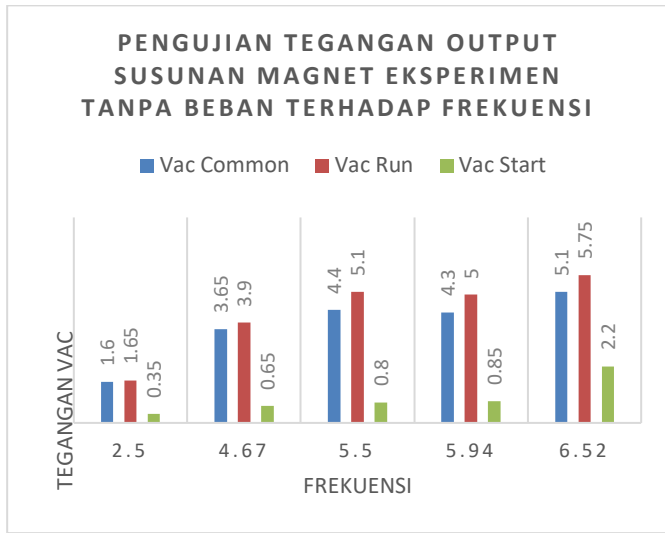


Gambar 10. Grafik Pengujian Tegangan *Output* Susunan *Halbach Array* Tanpa Beban Terhadap Frekuensi

Dari gambar 10, terlihat tegangan pada kumparan utama (*Run*) menghasilkan tegangan yang paling besar, sedangkan

kumparan bantu menghasilkan tegangan dibawah nilai kumparan utama.

- Pengujian Tegangan Beban Kosong Susunan Magnet Eksperimen

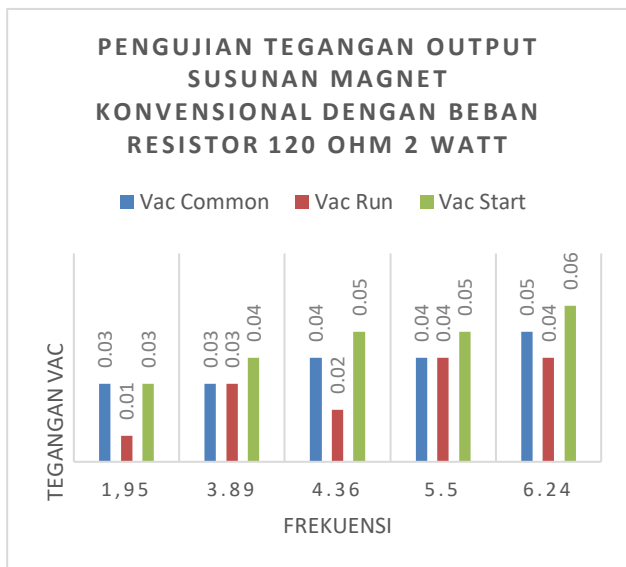


Gambar 11. Grafik Pengujian Tegangan *Output* Susunan Magnet Eksperimen Tanpa Beban Terhadap Frekuensi

Dari gambar 11, terlihat tegangan pada kumparan utama (*Run*) menghasilkan tegangan yang paling besar, sedangkan kumparan bantu menghasilkan tegangan dibawah nilai kumparan utama.

B. Pengujian Tegangan Berbeban Resistor 120Ω 2 Watt

- Pengujian Susunan Magnet Konvensional Berbeban

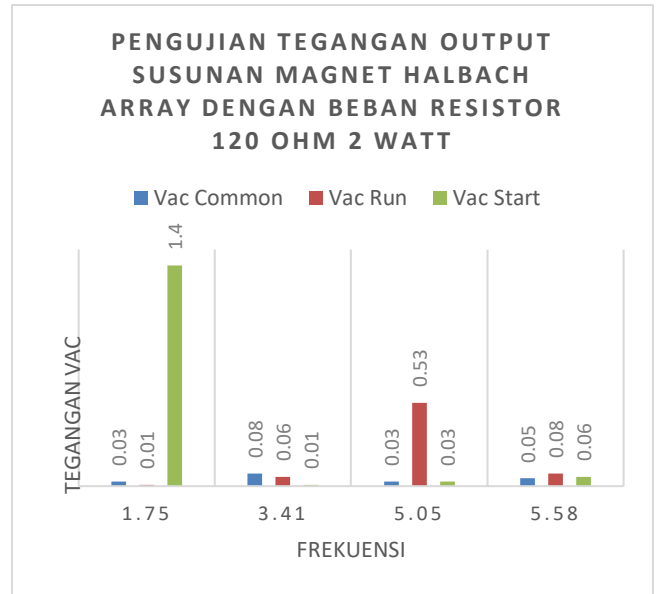


Gambar 12. Grafik Pengujian Tegangan *Output* Susunan Magnet Konvensional Dengan Beban Resistor 120 Ohm 2 Watt

Dari gambar 12, terlihat tegangan pada kumparan bantu (*Start*) menghasilkan tegangan yang paling besar, sedangkan kumparan utama menghasilkan tegangan dibawah nilai kumparan bantu.

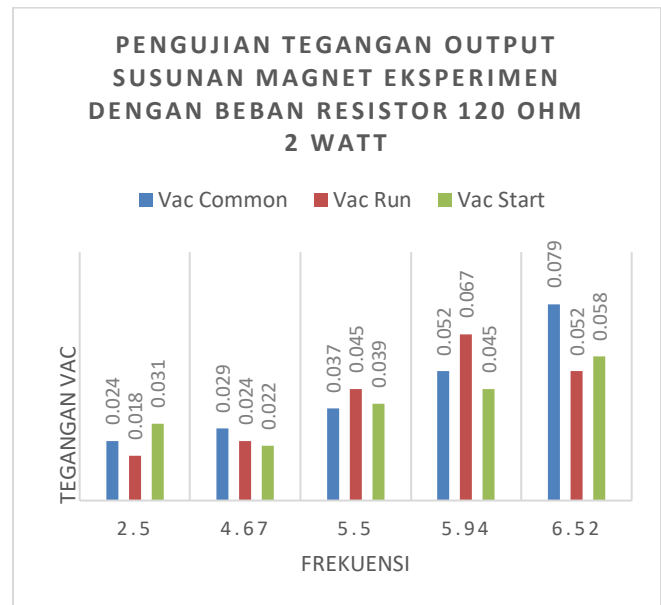
Dari gambar 13, terlihat ketidak seimbangan tegangan yang dihasilkan saat pengujian tegangan terhadap susunan magnet *Halbach Array*.

- Pengujian Susunan Magnet *Halbach Array* Berbeban



Gambar 13. Grafik Pengujian Tegangan *Output* Susunan Magnet *Halbach Array* Dengan Beban Resistor 120 Ohm 2 Watt

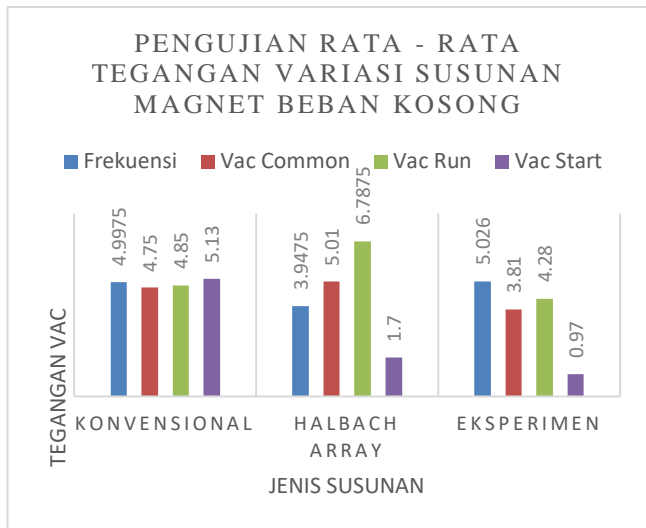
- Pengujian Susunan Magnet Eksperimen Berbeban



Gambar 14. Grafik Pengujian Tegangan *Output* Susunan Magnet Eksperimen Dengan Beban Resistor 120 Ohm 2 Watt

Dari gambar 14, terlihat rata – rata kumparan utama yang menghasilkan tegangan yang paling besar daripada kumparan bantu.

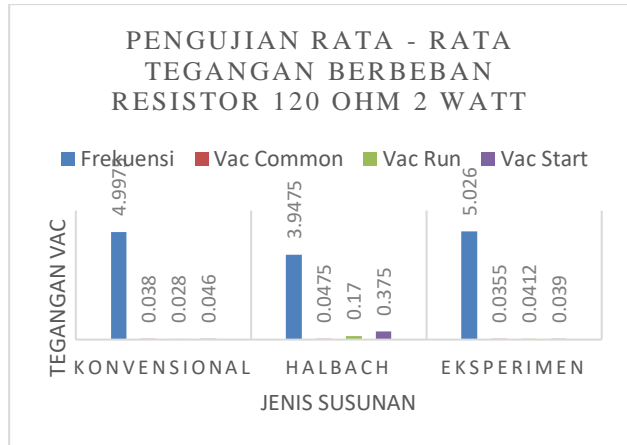
C. Perbandingan Variasi Susunan Magnet Beban Kosong



Gambar 15. Grafik Perbandingan Variasi Susunan Magnet Beban Kosong

Dari hasil perbandingan tegangan rata – rata susunan magnet terhadap frekuensi, terlihat bahwa susunan magnet konvensional memiliki tegangan yang stabil, sedangkan pada susunan magnet Halbach Array menghasilkan tegangan yang paling tinggi pada kumparan utama, dan susunan magnet eksperimen menghasilkan tegangan yang paling rendah diantara susunan magnet yang lain pada saat beban kosong.

D. Perbandingan Variasi Susunan Magnet Berbeban



Gambar 16. Grafik Perbandingan Variasi Susunan Magnet Beban Resistor 120 Ohm 2 Watt

Susunan magnet Halbach Array menghasilkan tegangan yang paling besar dengan frekuensi yang lebih rendah diantara susunan magnet yang lain pada saat pengujian tegangan berbeban resistor 120 Ohm 2 Watt.

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat adalah sebagai berikut:

1. Tegangan yang dihasilkan berbanding lurus dengan frekuensi translator.
2. Arus yang dihasilkan sangat kecil (mendekati nol).
3. Tegangan beban kosong pada kumparan utama (*Run*) pada frekuensi 5,5 Hz paling besar dihasilkan oleh susunan magnet *Halbach Array* dengan nilai 8,9 V_{AC} dibandingkan dengan susunan magnet lainnya.

4. Tegangan berbeban resistor 120 Ohm 2 Watt pada kumparan utama (*Run*) pada frekuensi 5,5 Hz paling besar dihasilkan oleh susunan magnet *Halbach Array* dengan nilai 0,08 V_{AC} dibandingkan dengan susunan magnet lainnya.
5. Generator linier tidak sepenuhnya dapat diimplementasikan, ada beberapa parameter dan komponen yang harus diperhatikan pada saat melakukan penyusunan magnet Neodymium pada susunan magnet *Halbach Array*.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nugroho, W. B., Kusuma, I. R., & Sarwito, S. (2014). Kajian teknis gejala magnetisasi pada linear generator untuk alternatif pembangkit listrik. *3*(1), 1-4. Retrified June 9, 2017.
- [2] Bard, J., & Kracht, P. (2013). *Linear generator systems for wave energy converters*. Retrified June 26, 2017.
- [3] Wijaya, F. D., Azhari, B., & Stephanus, H. (2016, December). Optimum permanent magnets configuration in flat-quasi linear permanent magnet generators. (F. D. Wijaya, B. Azhari, & H. Stephanus, Penyunt.) *6*(6), 2589-2606. Retrified May 30, 2017.
- [4] Wahyudie, A., Jama, M., Susilo, T. B., Mon, B. F., Shaaref, H., & Noura, H. (2017, March 20). Design and testing of a laboratory scale test rig for wave energy converters using a double-sided permanent magnet linear generator. *11*(7), 922-930. Retrified July 12, 2017.
- [5] Oprea, C., Martis, C., Florin, J., & Szabo, L. (2011). Permanent magnet linear generator for renewable energi aplications: tubular vs four-sided structure. 1-5. Retrified June 1, 2017.