

## STUDY DAN FABRIKASI PEMANEN ENERGI GETARAN MENGGUNAKAN GENERATOR LINIER TUBULAR 3 FASA

### STUDY AND FABRICATION OF VIBRATION ENERGY HARVESTER USING TUBULAR 3 PHASE LINEAR GENERATOR

Jesika Winona Teda Tarigan<sup>1</sup>, Abrar<sup>2</sup>, Gandi Sugandi<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>3</sup>Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (P2ET), LIPI

<sup>1</sup>winonajesika@gmail.com, <sup>2</sup>abrarselah@telkomuniversity.ac.id, <sup>3</sup>gandi511@yahoo.com

#### Abstrak

Penelitian ini membahas simulasi, fabrikasi dan karakterisasi generator linier tubular 3 fasa. Penelitian dimulai dengan membuat desain dan simulasi untuk mencari tegangan keluaran yang dihasilkan divais generator linier tubular 3 fasa. Divais terdiri dari bagian stator dan bagian rotor. Stator terdiri dari 3 buah kumparan yang dililit sebanyak 380 lilitan dengan diameter kumparan sebesar 0,3 mm. Rotor terdiri dari inti besi, core dan 5 buah magnet. Tegangan keluaran yang dihasilkan pada simulasi ketika diberikan frekuensi 13,7 Hz adalah 1,8 Vp dan pada frekuensi 17,2 Hz menghasilkan tegangan sebesar 2 Vp. Setelah melakukan perancangan dan simulasi maka divais generator linier tubular 3 fasa difabrikasi dan dikarakterisasi. Karakterisasi divais dilakukan dengan dua cara yaitu karakterisasi tanpa penyangga dan karakterisasi dengan penyangga. Karakterisasi tanpa penyangga memiliki frekuensi resonansi 17,2 Hz. Pada frekuensi resonansi coil 1 menghasilkan tegangan keluaran sebesar 0,625 Vrms, coil 2 menghasilkan 0,633 Vrms dan coil 3 menghasilkan 0,412 Vrms. Karakterisasi dengan penyangga memiliki frekuensi resonansi 13,7 Hz menghasilkan tegangan keluaran pada coil 1 sebesar 1,44 Vrms, 1,45 Vrms pada coil 2 dan 1,25 Vrms pada coil 3. Kata kunci: Generator Linier tubular, frekuensi.

#### Abstract

This research is devoted to study the design, fabrication and characterization of linear tubular generator 3 phase. The research began by creating designs and simulations to find output voltage of the 3-phase Tubular linear Generator. The Divais consist of stator and rotor parts. Stator consists of 3 coil that are wrapped in as much as 380 coil with coil diameter of 0.3 mm. The Rotor consists of an iron core, a core and 5 magnets. The study started with The simulation result in this study with a frequency of 13,7 Hz produced 3.6 Vpp of output voltage while at a frequency of 17.2 Hz produced 4 Vpp of voltage. After the simulation, the 3 phase tubular linear generator device is fabricated and characterized. Characterization of devices carried out in two ways, namely characterization without cantilever and with cantilever. Characterization without cantilever has 17,2 Hz of resonance frequency. At resonance frequency coil 1 produced out voltage of 0.625 Vrms, coil 2 produced 0.633 Vrms and coil 3 produced 0.412 Vrms. Characterization with cantilever has 13.7 of resonant frequency and produced an 13.7 Hz of output voltage produced 1.44Vrms on coil 1, coil 2 produced 1.45 Vms and coil 3 produced 1.25 Vms. Keywords: Tubular linear generators, resonance frequency.

#### 1. Pendahuluan

Energy Harvesting (pemanenan energi) adalah suatu proses pemanenan energi lain yang terbuang di alam yang dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik. Sumber energi lain yang dapat dimanfaatkan adalah energi matahari, energi angin dan energi gelombang air laut [1].

Sumber energi lain yang terbuang dalam dapat dimanfaatkan dengan sistem generator rotasi, piezoelektrik, generator linier dll. Pada penelitian ini sumber energi tersebut akan dimanfaatkan dengan sistem generator linier tubular 3 fasa. Generator linier tubular 3 fasa memanfaatkan gerakan magnet secara linier untuk menghasilkan tegangan. Generator linier tubular 3 fasa ini terdiri dari tiga buah kumparan, ketiga kumparan masing-masing dililit sebanyak 380 lilitan. Keuntungan memilih generator linier 3 fasa yaitu efisiensi transmisi lebih besar dan kerugian tembaga relatif rendah[2].

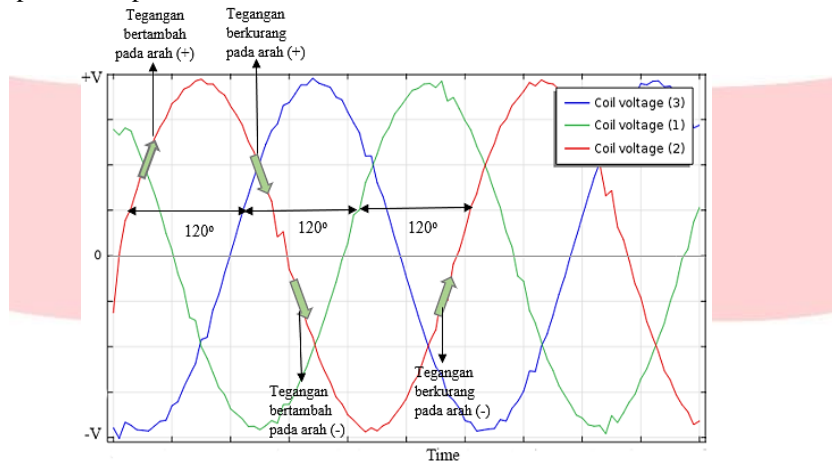
Tujuan dari penelitian ini adalah merancang, memfabrikasi, merakit dan mengkarakterisasi generator linier tubular 3 fasa.

#### 2. Dasar Teori /Material dan Metodologi/perancangan

##### 2.1 Generator Linier 3 Fasa

Generator linier 3 fasa adalah sebuah mesin yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan rotor bergerak secara linier. Generator linier 3 Fasa terdiri dari 2 bagian yaitu stator dan rotor. Rotor terdiri dari magnet sedangkan stator terdiri dari kumparan. Stator pada generator linier 3 fasa terdiri dari 3 buah kumparan yang akan menghasilkan gelombang 3 fasa [3].

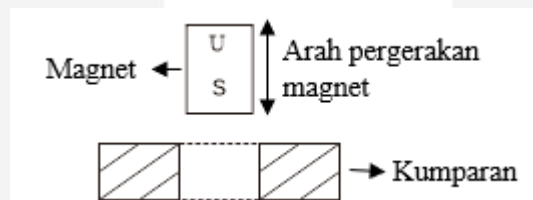
Gelombang tiga fasa adalah tiga gelombang yang mempunyai perbedaan fasa masing-masing  $120^\circ$ . Gelombang 3 fasa dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini



Gambar 1. Gelombang 3 Fasa

## 2.2 Hukum Faraday

Percobaan Faraday pada penelitian ini adalah ketika magnet bergerak keluar masuk secara vertikal terhadap kumparan, dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini .



Gambar 2. Pergerakan magnet terhadap kumparan

Hukum Faraday menyatakan bahwa ggl induksi berhubungan dengan laju perubahan fluks magnet. Gaya Gerak Listrik (GGL) dihasilkan dari proses elektromagnetik, ggl akan timbul jika adanya perubahan fluks medan magnet pada suatu kumparan [4]. Hal hal yang mempengaruhi besar gaya gerak listrik yaitu jumlah lilitan, laju perubahan medan magnet dan kuat magnet. Semakin besar laju perubahan medan magnet maka semakin besar juga ggl yang dihasilkan dan semakin banyak jumlah lilitan maka ggl juga semakin besar[5].

Menurut prinsip Faraday yang berbunyi bahwa gaya gerak listrik induksi sebanding dengan laju perubahan fluks medan magnet yang terjadi dalam sebuah kumparan [6]. Dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut.

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (2.1)$$

dimana  $\varepsilon$  adalah ggl induksi,  $N$  adalah jumlah lilitan,  $\Delta\Phi$  adalah perubahan fluks magnetik dan  $\Delta t$  adalah selang waktu. Diketahui bahwa  $\Phi = BA \cos\theta$  maka persamaan 2.1 dapat diubah menjadi

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta(BA \cos\theta)}{\Delta t} \quad (2.2)$$

dimana  $B$  adalah kuat medan magnet,  $A$  adalah luas bidang kumparan dan  $\theta$  adalah sudut antara arah induksi dengan kumparan.

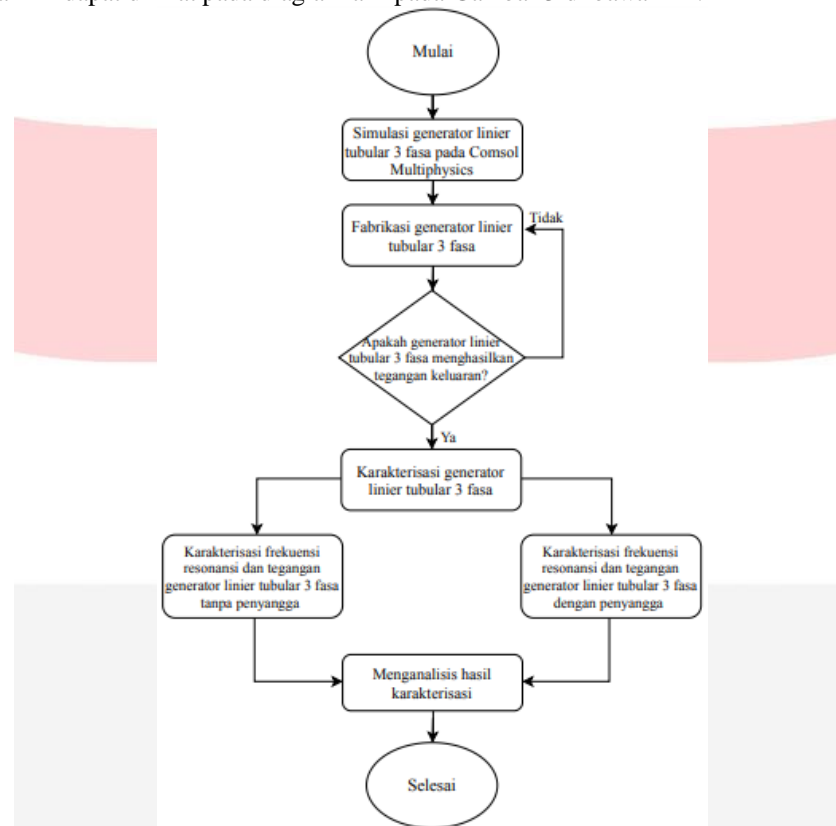
## 2.3 Medan Magnetik

Magnet memiliki 2 kutub yang saling berlawanan yaitu kutub utara (U) dan kutub selatan (S). Magnet dengan kutub yang sama akan saling tolak menolak dan kutub yang berlawanan akan saling tarik menarik. Daerah yang berada diantara kutub utara dan selatan disebut dengan medan magnet. Medan magnet ini tersusun oleh garis-garis yang keluar dari kutub utara menuju ke kutub selatan yang disebut dengan garis gaya magnet. Garis gaya magnet memiliki sifat yaitu garis gaya magnet akan keluar dari kutub utara dan masuk ke kutub selatan, garis gaya

magnet tidak akan berpotongan dan daerah yang memiliki garis gaya magnet yang rapat menunjukkan medan magnet yang kuat[7].

## 2.4 Metodologi Penelitian

Metode penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar 3 di bawah ini.



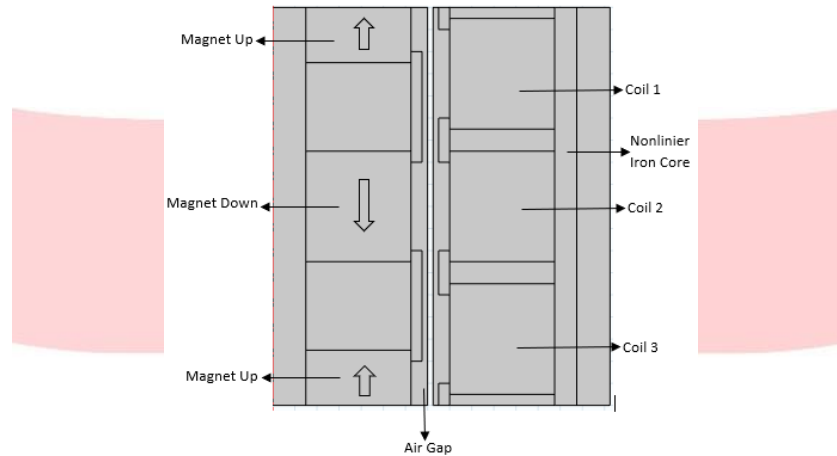
Gambar 3. Diagram alir

Perancangan dan simulasi pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *Comsol Multiphysics 4.3*. Simulasi ini dilakukan untuk melihat tegangan keluaran yang dihasilkan generator linier tubular 3 fasa yang telah didesain. Generator linier tubular 3 fasa terdiri dari stator dan rotor. Rotor merupakan bagian yang bergerak pada generator linier tubular 3 fasa. Pergerakan rotor akan menginduksi bagian stator yang diam. Parameter yang digunakan untuk merancang dan mendesain dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1 Parameter perancangan generator linier tubular 3 fasa

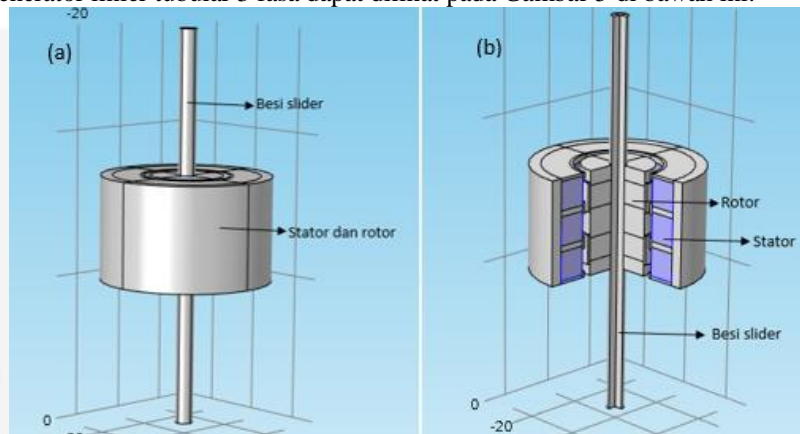
NO	Nama Parameter	Ukuran Parameter
1	<i>Magnet Height</i>	10 mm
2	<i>Magnet Width</i>	9.5 mm
3	<i>Shaft radius</i>	3 mm
4	<i>Stator tooth Height</i>	2 mm
5	<i>Stator tooth Width</i>	10 mm
6	<i>Slider tooth Height</i>	8 mm
7	<i>Slider tooth Width</i>	1 mm
8	<i>Slider Iron Height</i>	4 mm
9	<i>Coil Width</i>	9.5 mm
10	<i>Coil Height</i>	10 mm
11	<i>Pole Pitch</i>	36 mm
12	<i>Speed</i>	1 m/s
13	<i>Frequency of Oscillator</i>	13,7 dan 17,2 Hz
14	<i>Time for Stationary Study</i>	0 s
15	<i>Air Gap</i>	3 mm
16	<i>Remanent magnetic flux</i>	1.47 T
17	Gap tambahan pada model	1 mm
18	<i>Angular Frequency</i>	$2 \cdot \pi \cdot \text{frequency}$

Desain geometri yang digunakan pada simulasi dengan parameter pada Tabel 1 ditunjukkan pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Desain geometri pada simulasi

Gambar 3D dari generator linier tubular 3 fasa dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini.

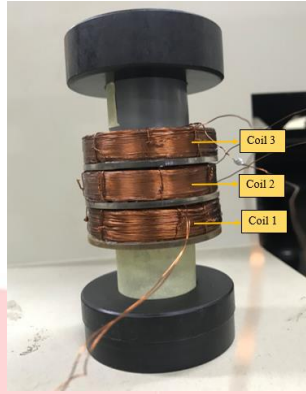


Gambar 5. Perancangan generator linier tubular 3 fasa (a) tampak luar (b) tampak dalam

Setelah melakukan simulasi dan perancangan langkah selanjutnya yaitu fabrikasi stator dan rotor. Stator terdiri dari 3 kumparan dan acrylic dengan tinggi 2 mm sedangkan rotor terdiri dari magnet dan core yang dimasukkan kedalam inti besi. Hasil fabrikasi rotor dapat dilihat pada Gambar 6, hasil fabrikasi stator dapat dilihat pada Gambar 7 di bawah ini.



Gambar 6. Hasil fabrikasi bagian rotor



Gambar 7. Hasil fabrikasi bagian stator

Langkah selanjutnya adalah merakit bagian rotor dan stator menjadi divais generator linier tubular 3 fasa. Bentuk akhir generator linier tubular 3 fasa dapat dilihat pada Gambar 8 di bawah ini.

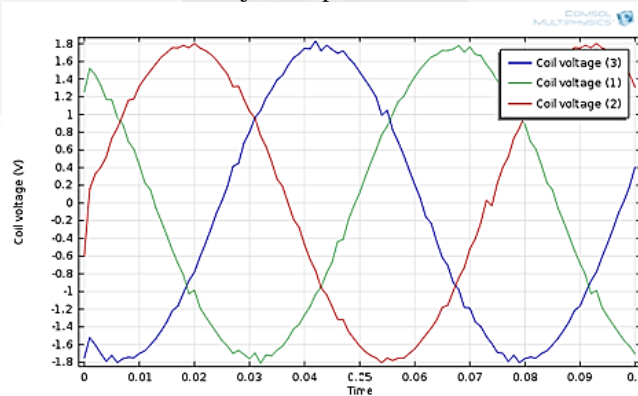


Gambar 8. Bentuk akhir generator linier tubular 3 fasa

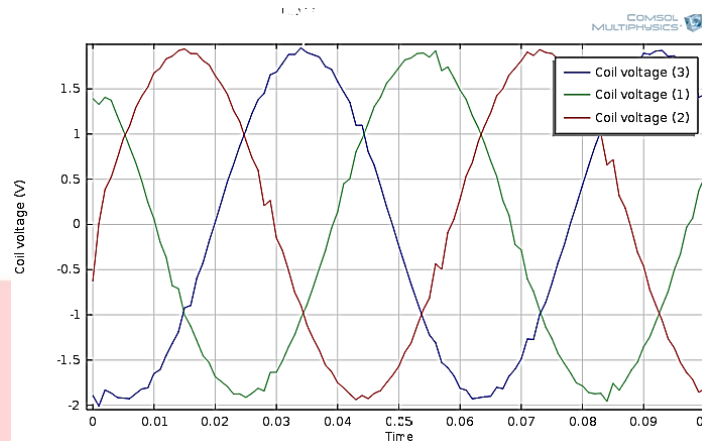
### 3. Pembahasan

#### 3.1 Hasil Simulasi

Divais disimulasikan menggunakan *Comsol Multiphysic 4.3*. Simulasi ini bertujuan untuk melihat perubahan fasa dan tegangan keluaran yang dihasilkan setiap *coil*. Tegangan keluaran yang dihasilkan dari simulasi akan dibandingkan dengan hasil karakterisasi. Tegangan keluaran yang dihasilkan pada simulasi ketika diberi masukan frekuensi 13,7 dan 17,2 Hz ditunjukkan pada Gambar 9 dan 10 di bawah ini.



Gambar 9. Grafik tegangan keluaran pada frekuensi 13,7 Hz



Gambar 10. Grafik tegangan keluaran pada frekuensi 17,2 Hz

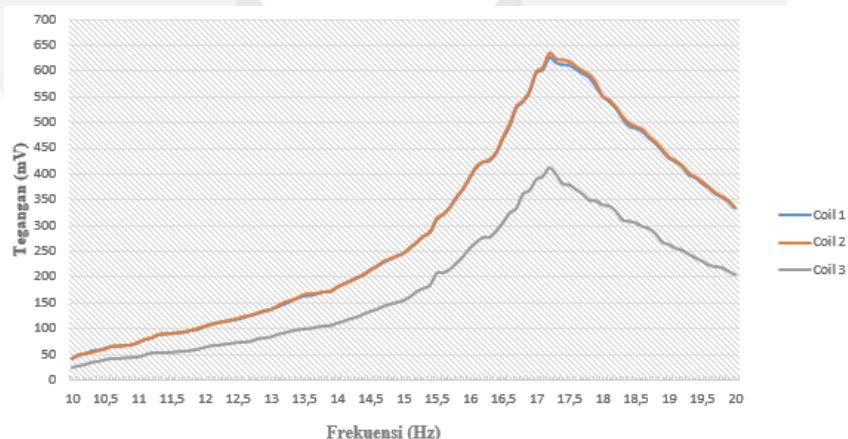
Pada Gambar 9 dan 10 menunjukkan bahwa gelombang pada grafik di atas menghasilkan perbedaan fasa sebesar  $120^\circ$ . Tegangan keluaran yang dihasilkan ketiga coil pada frekuensi 13,7 Hz adalah 1,8 Vp atau 1,285 Vrms sedangkan ketika diberikan frekuensi 17,2 Hz dihasilkan 2 Vp atau 1,428 Vrms.

Simulasi ini hanya menampilkan grafik 3 fasa dan tegangan keluaran ketika diberikan masukan frekuensi. Semakin besar masukan frekuensi yang diberikan maka semakin besar juga tegangan keluaran yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh, pada sebuah generator besarnya tegangan dipengaruhi oleh kuat medan magnet, panjang kumparan dan kecepatan rotor bergerak. Kecepatan rotor bergerak berbanding lurus dengan frekuensi yang diberikan. Oleh karena itu, semakin besar frekuensi yang diberikan maka semakin cepat rotor bergerak sehingga tegangan yang dihasilkan juga semakin besar.

### 3.2 Karakterisasi Frekuensi Resonansi dan Tegangan Generator Linier Tubular 3 Fasa Tanpa Penyangga

Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan function generator dengan *mixer sound* dan mesin vibrator. Masukan frekuensi dari function generator akan dikuatkan dengan mixer sound untuk menggetarkan mesin vibrator. Kecepatan getar dari mesin vibrator diukur dengan *velocitymeter*. Divais generator linier tubular 3 fasa yang berada di atas mesin vibrator akan bergerak secara linier. Ketika divais bergerak, tegangan keluaran yang dihasilkan setiap *coil* akan dilihat pada multimeter.

Karakterisasi divais generator linier tubular 3 fasa diberikan masukan frekuensi yang berasal dari function generator pada rentang 10- 20 Hz. Pada saat divais bergetar, ketiga ujung *coil* yang dihubungkan multimeter akan menampilkan tegangan keluaran dari setiap *coil*. Grafik hubungan antara frekuensi dengan tegangan pada karakterisasi tanpa penyangga ditunjukkan pada Gambar 11 di bawah ini



Gambar 11. Grafik hubungan antara frekuensi dengan tegangan pada karakterisasi tanpa penyangga

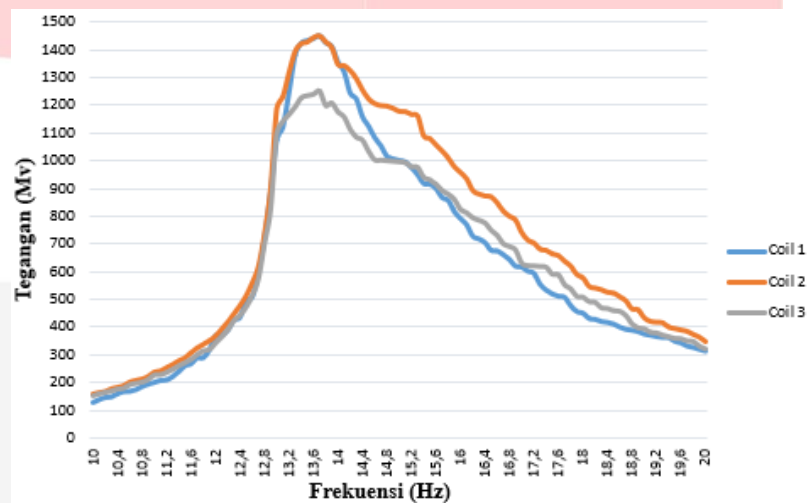
Grafik pada Gambar diatas menjelaskan bahwa frekuensi resonansi berada pada 17,2 Hz. Pada frekuensi resonansi coil 1 menghasilkan tegangan keluaran sebesar 0,625 Vrms, coil 2 menghasilkan 0,633 Vrms dan coil 3 menghasilkan 0,412 Vrms

Tegangan keluaran yang dihasilkan pada karakterisasi tanpa penyangga berbeda dengan hasil simulasi. Perbedaan itu disebabkan karena pada simulasi tidak memperhitungkan error dan bagian rotor dianggap bergerak dengan maksimal. Sementara itu, pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui frekuensi resonansi sehingga tidak memperhatikan posisi divais terhadap mesin vibrator. Getaran pada mesin vibrator seharusnya

menggerakkan bagian rotor pada divais. Namun, pada karakterisasi ini mesin vibrator menggerakkan seluruh divais. Oleh karena itu, perubahan displacement menjadi kecil dan menyebabkan tegangan yang dihasilkan juga kecil. Pada penelitian ini tegangan keluaran yang dihasilkan coil 3 lebih kecil dibandingkan coil 1 dan 2. Hal ini disebabkan oleh posisi coil 3 tidak tepat. Oleh karena itu, coil 3 tidak terinduksi dengan sempurna.

### 3.3 Karakterisasi Frekuensi Resonansi dan Tegangan Generator Linier Tubular 3 Fasa dengan Penyangga

Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan function generator dengan mixer sound dan mesin vibrator. Masukan frekuensi dari function generator akan diatur dengan mixer sound untuk menggetarkan mesin vibrator. Kecepatan getar dari mesin vibrator diukur dengan velocitymeter. Divais generator linier tubular 3 fasa digantungkan pada penyangga. Bagian rotor pada divais dihubungkan dengan bola pelampung yang berada di atas mesin vibrator. Ketika mesin vibrator bergetar maka bola pelampung akan menggetarkan bagian rotor. Ketika rotor bergerak, ketiga ujung *coil* dihubungkan dengan multimeter untuk melihat tegangan keluaran. Masukan frekuensi pada karakterisasi dengan penyangga berada pada rentang 10-20 Hz. Grafik hubungan antara frekuensi dengan tegangan pada karakterisasi dengan penyangga ditunjukkan pada Gambar 12 di bawah ini.



Gambar 12. Grafik hubungan antara frekuensi dengan tegangan pada karakterisasi dengan penyangga

Grafik pada Gambar 12 menunjukkan bahwa pada karakterisasi dengan penyangga memiliki frekuensi resonansi pada 13,7 Hz. Tegangan keluaran yang dihasilkan coil 1 pada frekuensi resonansi adalah 1,44 Vrms, sedangkan coil 2 menghasilkan 1,45 Vrms dan coil 3 menghasilkan 1,25 Vrms.

Pengujian ini menghasilkan tegangan keluaran yang lebih besar dibandingkan pengujian tanpa penyangga. Hal ini disebabkan oleh, perbedaan kecepatan getar dari mesin vibrator dan posisi divais terhadap mesin vibrator. Pada pengujian ini kecepatan getar yang dihasilkan mesin vibrator dimulai dari 3 mm/s sedangkan pada pengujian tanpa penyangga dimulai dari 0,98 mm/s. Posisi divais terhadap mesin vibrator pada pengujian ini sudah benar. Oleh sebab itu, pada pengujian ini bagian yang bergerak dari divais hanya rotor. Ketika rotor bergerak dan stator tetap diam maka perubahan displacement dapat maksimal. Semakin besar perubahan displacement maka tegangan keluaran juga semakin besar.

Pada pengujian ini tegangan yang dihasilkan *coil* 3 lebih rendah dibandingkan *coil* 1 dan 2. Hal ini disebabkan oleh posisi stator terhadap rotor kurang tepat. Posisi *coil* lebih keatas sedikit sehingga tidak berada tepat dibagian tengah rotor. Oleh karena itu, perpotongan *coil* 3 terhadap medan magnet kurang sempurna.

## 4. Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil didisain, difabrikasi dan dikarakterisasi divais generator linier tubular 3 fasa dengan memanfaatkan gerakan magnet secara linier untuk menghasilkan tegangan. Disain pada penelitian ini dilakukan dengan aplikasi Comsol Multyphysic 4.3. Tegangan keluaran yang didapat pada simulasi ketika diberikan frekuensi 13,7 Hz adalah 1,8 Vp atau 1,285 Vrms. Pada saat diberikan frekuensi 17,2 Hz tegangan keluaran yang dihasilkan adalah 2 Vp atau 1,4 Vrms.

Karakterisasi pada penelitian ini dilakukan dengan dua cara yaitu karakterisasi frekuensi resonansi dan tegangan tanpa penyangga dan dengan penyangga. Karakterisasi tanpa penyangga memiliki frekuensi resonansi pada 17,2 Hz dan menghasilkan tegangan keluaran pada coil 1 sebesar 0,625 Vrms, coil 2 menghasilkan 0,633 Vrms dan coil 3 menghasilkan 0,412 Vrms. Sementara itu, karakterisasi dengan penyangga memiliki frekuensi resonansi pada 13,7 Hz dan menghasilkan tegangan keluaran pada coil 1 sebesar 1,44 Vrms, pada coil 2 menghasilkan 1,45 Vrms dan coil 3 menghasilkan 1,25 Vrms.

**Daftar Pustaka:**

- [1] S. Priya. (2009). *Energy Harvesting Technologies*.
  - [2] N. Paudel. (2015). *Modeling Linier Motors and Generator in Comsol Multiphysics*.
  - [3] Immanuel. (2016). Pembangkit Tegangan Pada Generator 3 Fasa, 3-6.
  - [4] D.E. Umar. (2008). Buku Pintar Fisika. Jakarta: Media Pusindo.
  - [5] W.H. Hayt. (2005). Elektromagnetika, edisi ketujuh. PT. Gelora Angkasa Pratama
  - [6] D. Indrajit. (2007). Mudah dan Aktif Belajar Fisika. Bandung : PT setia Purna.
  - [7] H. D. Y dan R. Freedman. (2000). Fisika Universitas. Jakarta: Erlangga.
- 