

PERANCANGAN SIMULATOR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT UNTUK MENGHASILKAN ENERGI LISTRIK SKALA KECIL

DESIGN OF SEA WAVE POWER PLANT SIMULATOR FOR SMALL SCALE ELECTRICAL ENERGY PRODUCTION

Muhammad Ihsan¹, Suprayogi², Ahmad Qurthobi³

^{1,2}Program Studi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Telkom University

¹mhdihsan@student.telkomuniversity.ac.id, suprayogi@telkomuniversity.ac.id²

³qurthobi@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Energi listrik menjadi salah satu kebutuhan pokok yang harus dipenuhi dalam kehidupan sehari-hari. Energi gelombang laut hadir sebagai sumber daya energi terbarukan yang memiliki ketersediaan lebih tinggi, variasi data per jam yang rendah, serta potensi daya yang lebih tinggi dibandingkan dengan sumber daya energi terbarukan lainnya. Pada pengerjaan tugas akhir ini, dirancang dan direalisasikan simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut menggunakan sistem *slider-crank* sebagai penggerak magnet bagi linear permanent magnet generator. Kemudian melakukan pengukuran tegangan yang dihasilkan oleh *Linear Permanent Magnet Generator* (LPMG). Gelombang laut disimulasikan dengan data perubahan ketinggian permukaan laut per 0,5 detik yang menjadi masukan kepada Motor langkah. Motor langkah akan menggerakkan *slider-crank* yang mengubah gerak rotasi menjadi gerak linear untuk magnet bergerak didalam selongsong generator. Generator terdiri atas dua lilitan terpisah dengan jumlah lilitan yang sama. Jumlah lilitan yang digunakan yaitu 5000 dan 7500 lilitan. Gaya gerak listrik (GGL) yang timbul kemudian diukur menggunakan multimeter. Berdasarkan analisis, simulator gelombang laut bisa dijalankan dengan memanfaatkan data perubahan sudut gear yang diterjemahkan ke dalam Bahasa pemrograman Arduino dengan mendefinisikan nilai step dan arah rotasi. Persentase tingkat kemiripan dari data asli dengan data untuk simulasi gelombang laut mencapai 88,3%. LPMG menghasilkan tegangan AC pada rentang 4,1 mV hingga 68,2 mV, dimana titik tertinggi didapatkan pada percobaan lilitan 5000 saat koil terdekat dari stepper motor aktif.

Kata Kunci : Motor langkah, Simulator gelombang laut, *slider-crank*, linear generator.

Abstract

Electrical energy is one of the basic needs for everyday life. Sea wave energy is one of renewable energy sources that have a higher availability, least data variation per hour, and higher power potential compared to other renewable energy resources. In this final project, a sea wave power plant simulator is designed and built using a *slider-crank* system to move the magnet for a linear permanent magnet generator to generate electric voltage that measured. Sea waves will be simulated with data changes in surface height every 0.5 second which is the masukan for stepper motor. The movement of the stepper motor will move the *slider-crank* which converts the rotation motion into linear motion for the magnet that moves in the generator core. The generator consists of two separate windings with the same number of turns. The number of turns used is 5000 and 7500 turns. The EMF then measured by using multimeter. Based on data-acquiring, a sea wave simulator can be run using gear angle shifting data which is translated into the Arduino programming language then defined to steps and rotation direction. The percentage of similarity between the original data with the data for the simulation of sea waves reaches 88.3%. The Linear Permanent Magnet Generator produces an AC voltage in the range of 4.1 mV to 68.2 mV, where the highest point is obtained in the 5000 coil experiment when the nearest coil to the stepper motor is active.

Keywords: Motor langkah, Sea wave simulator, *slider-crank*, linear generator.

1. Pendahuluan

Teknologi yang berkembang pesat hingga hari ini menyebabkan energi listrik menjadi salah satu kebutuhan pokok yang harus dipenuhi dalam kehidupan sehari-hari. Berdasarkan data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), hingga tahun 2016 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang umumnya menggunakan batu bara sebagai bahan bakar utama masih mendominasi di urutan pertama sebagai sarana penyedia energi listrik nasional [1]. Eksploitasi penggunaan batu bara ini membuka peluang bagi sumber daya energi terbarukan untuk menggantikan posisi dari batu bara saat ini sebagai pemasok sumber energi listrik di Indonesia. Beberapa sumber daya energi terbarukan yaitu: panas bumi, air sungai, panas surya, angin, biomassa, biogas, suhu kedalaman laut, serta gelombang laut [2]. Pada rentang tahun 2005 hingga 2009, beberapa penelitian mengemukakan bahwa energi gelombang laut hadir

sebagai sumber daya energi terbarukan yang memiliki ketersediaan lebih tinggi, variasi data per jam yang rendah, serta potensi daya yang tinggi [3].

Indonesia merupakan negara yang memiliki kawasan teritorial laut dengan total garis pantai sepanjang 99.093 km [4]. Hal ini menciptakan peluang dalam hal pemanfaatan energi gelombang laut. *Attenuator* bekerja dengan memanfaatkan hubungan tegak lurus antara penerima energi gelombang dengan gelombang laut. Gaya mekanik dari gelombang laut akan menggerakkan penerima gelombang yang kemudian akan dikonversi untuk menggerakkan generator [3]. Pada penelitian sebelumnya, digunakan metode *Attenuator* yang direpresentasikan dalam bentuk simulasi gelombang laut menggunakan motor AC dengan kecepatan konstan sebagai asumsi gelombang laut menggerakkan naik-turun linear permanent magnet generator. Linear permanent magnet generator merupakan jenis generator yang bergerak linear menggunakan prinsip medan magnet yang dapat menghasilkan tegangan. Perubahan posisi pada magnet akan mengakibatkan perubahan fluks medan magnet sehingga terjadi fenomena GGL induksi [8].

Pada tugas akhir ini, akan dirancang skala kecil dari sistem gerak slider-crank sebagai simulator gelombang laut sehingga linear permanent magnet generator dapat menghasilkan energi listrik dengan data masukan simulator menggunakan data per 0,5 detik perubahan sudut poros lengan penerima gelombang laut untuk mengatur gerakan dari system slider-crank. Kemudian akan diukur tegangan yang dihasilkan generator menggunakan multimeter.

2. Dasar Teori

2.1 Gaya Gerak Listrik (GGL) Induksi

GGL induksi merupakan beda potensial yang timbul pada ujung-ujung suatu umpanan akibat pengaruh dari induksi elektromagnetik. GGL induksi disebabkan oleh perubahan fluks magnet ketika magnet digerakkan di sekitar kumparan. Gerakan magnet secara kontinu menyebabkan adanya beda potensial antar ujung kumparan yang menyebabkan adanya arus mengalir di dalam kumparan. Arus yang ditimbulkan ini disebut arus induksi [5]. Jumlah fluks yang menembus kumparan dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{A} \tag{2.1}$$

- Dimana : Φ = fluks (Weber)
- \vec{B} = kuat medan magnet (Tesla)
- \vec{A} = luas bidang (m^2)

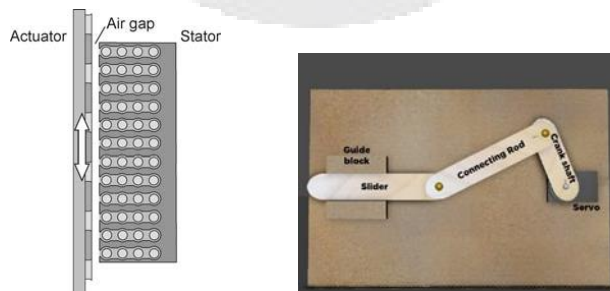
Berdasarkan hukum Faraday, GGL induksi pada suatu kumparan akan bergantung pada jumlah lilitan. Kecepatan perubahan fluks magnetic dinyatakan dengan persamaan:

$$\epsilon = -N \frac{d\vec{B} \cdot \vec{A} \sin \omega(t) t}{dt}$$

$$\epsilon = -N A B w \cos \omega(t)t \tag{2.2}$$

Keterangan: N = jumlah lilitan

2.2 Linear Permanent Magnet Generator



Gambar 2. 1. Konstruksi dasar Linear Permanent Magnet Generator [6] (a) Sistem Mekanisme Slider-crank (b)

Linear permanent magnet generator merupakan suatu jenis generator yang bergerak dengan mengandalkan kecepatan linear. Alat ini memiliki skema dasar seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1 (a), yang terdiri atas stator (kumparan) yang merupakan bagian yang diam dan actuator(magnet) yang merupakan bagian yang akan bergerak linear. Diantara magnet dan kumparan terdapat celah (air gap) yang berfungsi untuk meminimalisir terjadinya gesekan antara magnet dengan kumparan [5].

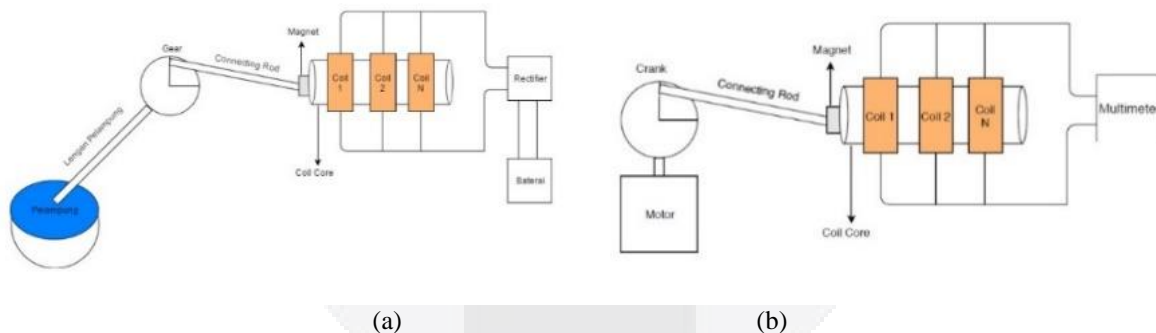
2.3.Mekanisme Slider-Crank

Mekanisme slider-crank merupakan suatu sistem mekanik yang mengubah gerak rotasi menjadi gerak linear ataupun sebaliknya [7]. Secara umum, slider-crank dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.1 (b), dimana sistem ini terdiri atas tiga komponen utama, yaitu slider yang berfungsi sebagai bagian gerak translasi, crank shaft yang merupakan bagian yang bergerak rotasi, dan connecting rod yang menghubungkan antara slider dan crank shaft.

3. Metodologi Penelitian

3.1. Sistem Simulator Gelombang Laut

Simulator gelombang laut merupakan mekanisme mekanik untuk memvisualisasikan pergerakan dari gelombang laut. Pada pengaplikasiannya yang digambarkan pada dari Gambar 3.1 (a), sistem ini menggunakan salah satu attenuator dengan menggunakan float. Float akan mengalami perubahan ketinggian ketika bersentuhan dengan gelombang laut. Perubahan ketinggian tersebut kemudian disambungkan ke sebuah gear melalui batang penghubung sehingga gear bergerak mengikuti perubahan posisi float. Gear yang berotasi akan diubah menjadi gerak linear dengan memanfaatkan mekanisme slider-crank. Sedangkan pada sistem simulator gelombang laut yang sesuai dengan Gambar 3.1. (b), akan dimanfaatkan perubahan sudut pada gear yang direpresentasikan menggunakan motor langkah. Motor langkah digerakkan dengan menggunakan driver motor serta mikrokontroler, yang pada pengerjaan sistem ini menggunakan Arduino. Shaft dari motor langkah disambungkan dengan crank plat akrilik untuk memperbesar perpindahan sudut. Pada titik busur dari crank dihubungkan dengan connecting rod atau batang penghubung untuk proses perubahan dari gerakan rotasi menjadi gerakan linear. Bagian akhir dari connecting rod dihubungkan lagi dengan bagian pembungkus magnet yang menjadi bagian dari sistem linear permanent magnet generator.



Gambar 3. 1. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (a) Simulator Pembangkit Listrik tenaga Gelombang Laut (b)

3.1.1. Motor langkah

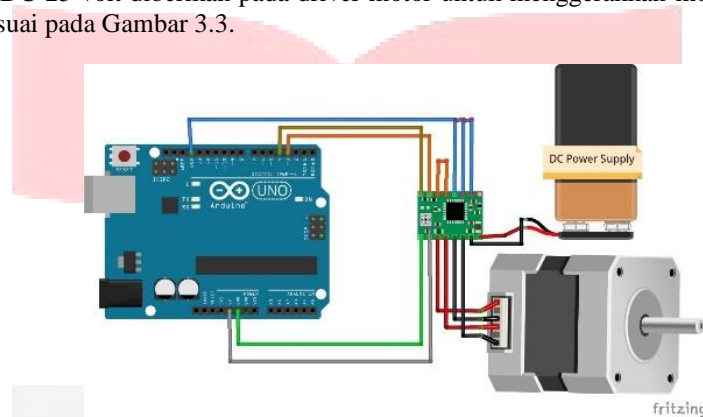
Motor langkah merupakan perangkat elektromekanik, bergerak dalam langkah rotasi terhadap respon masukan sinyal pulsa. Motor langkah memiliki dua bagian utama, yaitu stator dan rotor. Kumparan koil pada motor merupakan bagian dari stator, sedangkan magnet merupakan bagian dari rotor. Kecepatan dari motor langkah bergantung dari frekuensi masukan sinyal pulsa. Motor langkah memiliki dua buah kumparan, yang berfungsi sebagai penentu arah gerak rotasi motor [8]. Motor langkah yang digunakan adalah Bipolar Step-Syn Stepping Motor Type 103-770-6946 dengan spesifikasi Tegangan masukan 4,5 Volt, Arus 1,1 Ampere, dan 1,8 deg/step, serta nilai torsi sebesar 62 Ncm.

3.1.2. Slider-crank

Sistem *slider-crank* menghubungkan plat lingkaran akrilik dengan bagian pembungkus magnet. Hal ini bertujuan agar magnet bisa bergerak secara linear di dalam selongsong generator. *Slider-crank* terdiri dari dua bagian utama, yaitu *clevis* dan *rod*. *Clevis* merupakan besi berbentuk 'U' yang menghubungkan bagian linear dari *slider-crank*, sedangkan *rod* merupakan batang besi dengan panjang 25cm sehingga bisa menjangkau titik terjauh dari *crank*.

3.1.3. Driver Motor A4988

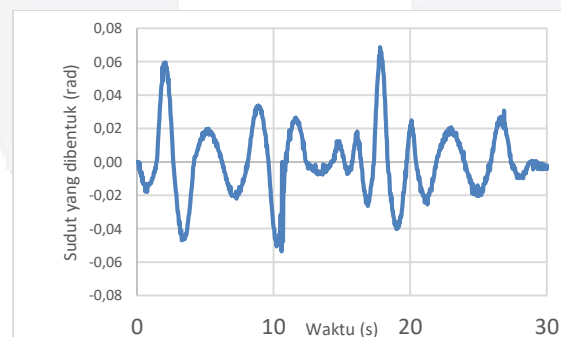
Driver Motor A4988 khusus dibuat untuk menggerakkan tipe motor langkah bipolar. Datasheet dari driver motor ditunjukkan pada Gambar 3.3. Pin 1 dihubungkan pada pin 6 Arduino. Pin 2, 3, dan 4 berfungsi untuk mengatur penggunaan tipe step dari motor langkah. Pin 5 dan 6 dihubungkan dengan jumper. Pin 7 dan 8 sebagai penentu nilai step dan arah rotasi dihubungkan pada pin 3 dan 4 pada Arduino. Pin 9 dan 10 dihubungkan pada GND dan Vin dari Arduino. Pin 11, 12, 13, dan 14 dihubungkan pada Bipolar Motor langkah. Pin 15 dan 16 dihubungkan dengan DC Power Supply. Tegangan DC 25 volt diberikan pada driver motor untuk menggerakkan motor langkah. Konfigurasi tersebut disambungkan sesuai pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 2. Konfigurasi akhir simulator gelombang laut

3.1.4. Masukan Data Untuk Simulator Gelombang Laut

Variasi gerakan gelombang laut didapatkan dari hasil simulasi ketinggian gelombang laut yang sebelumnya sudah pernah dilakukan. Nilai ketinggian gelombang laut yang dikonversi dari perubahan ketinggian pelampung menjadi perubahan sudut *gear* dimanfaatkan agar bisa disimulasikan pada motor langkah. Berdasarkan Gambar 3.4, nantinya data grafik tersebut akan disesuaikan ke dalam Bahasa pemrograman mikrokontroler.

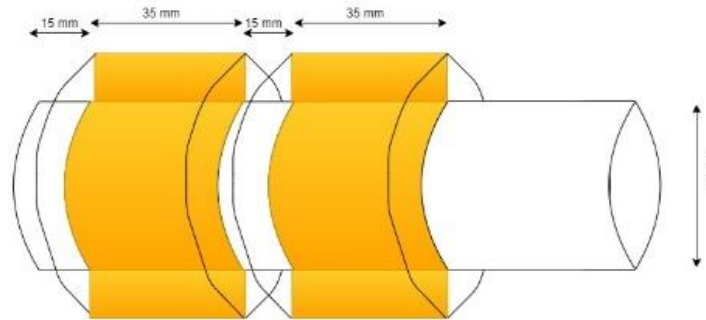


Gambar 3. 3. Grafik data dari nilai sudut yang dibentuk oleh gear dari sistem float

3.2. Sistem Linear Permanent Magnet Generator

Penampang koil merupakan pipa PVC dengan ukuran diameter 1 ¼ inch (42 mm). Kumbaran koil dibuat dengan panjang 35 mm masing-masingnya dan jarak 15 mm diantara kumbaran. Koil dililit pada selongsong pipa PVC. Tiap selongsong memiliki dua kumbaran dengan jumlah lilitan yang sama. Koil menggunakan tembaga dengan diameter 0,2 mm. Digunakan dua jumlah lilitan yang berbeda, yaitu 5000 dan 7500 lilitan. Bentuk akhir dari kumbaran koil sesuai dengan Gambar 3.5. Magnet pada generator akan menggunakan jenis magnet berbentuk tabung dengan diameter 31 mm dan tinggi 17 mm sebanyak dua buah. Magnet disusun dan dimasukkan didalam pembungkus magnet

yang terbuat dari bahan filamen. Pembungkus magnet berbentuk tabung dengan panjang 22 cm. Magnet diletakkan dibagian ujung pertama, dan ujung lain dari pembungkus akan terhubung pada bagian *connecting rod*.

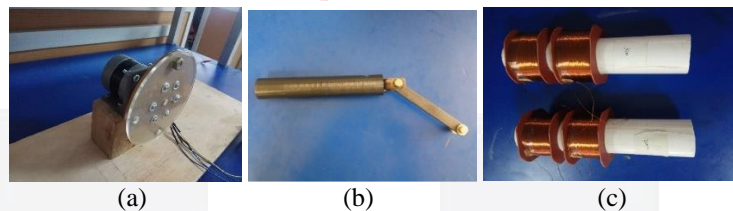


Gambar 3. 4. Rancangan Kumbaran Koil

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Realisasi Sistem Simulator Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut

Untuk menghubungkan shaft motor langkah dengan plat akrilik, digunakan shaft coupling hub 7 mm. Pada Gambar 4.1 (a) dapat dilihat bahwa stepper diposisikan pada ketinggian 7 cm dari shaft.

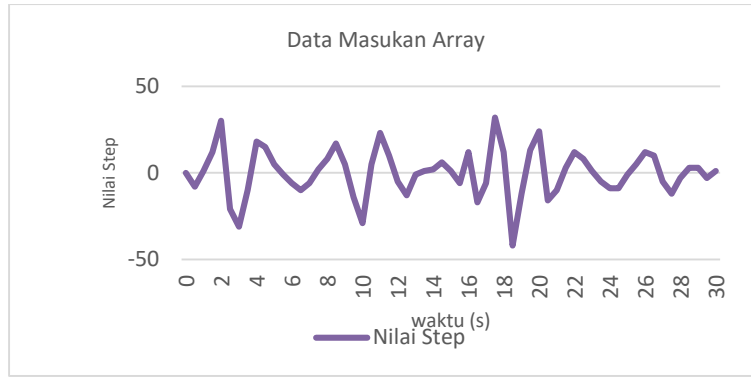


Gambar 4. 1. Motor langkah yang dihubungkan pada plat akrilik (a) Pembungkus magnet dan slider (b) Lilitan kumbaran (c)

Kemudian pada Gambar 4.1 (b) dapat dilihat bahwa di salah satu ujung dari *connecting rod* tersambung ke busur plat akrilik, dan ujung lainnya terhubung dengan clevis dan pembungkus magnet. Pembungkus magnet bergerak di dalam selongsong pipa PVC yang bagian luarnya terdapat lilitan kumbaran sebagai linear generator. Salah satu hal yang akan mempengaruhi hasil keluaran tegangan dari generator, yaitu kemungkinan gesekan yang terjadi antara pembungkus magnet dengan pipa PVC sebagai penampang koil. Hal ini coba ditanggulangi dengan memberi pelumas pada bagian dalam dari pipa PVC. Pemberian pelumas ini juga dilakukan pada beberapa titik mekanik dari slider-crank.

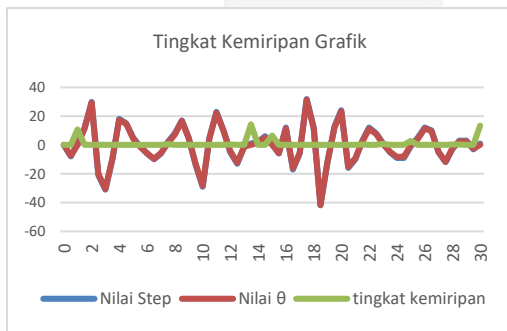
4.2. Data Masukan untuk Simulator Gelombang Laut

Pada Gambar 4.2 (a), terdapat flowchart proses pemrograman dari gerakan motor langkah. Diawali dengan penggunaan fungsi *struct* untuk menghasilkan format susunan matriks 1x2 yang terdiri atas nilai step dan arah rotasi. Setelah format terbentuk, kemudian nilai step dan arah rotasi yang berasal dari data di gambar 4.2 (b) dirubah menjadi bentuk 60 data matriks 1x2 agar sesuai format pemrograman. Selanjutnya program mulai memproses tiap matriks dengan menghitung jumlah step dalam matriks, lalu menentukan arah rotasi dari motor dimana HIGH didefinisikan sebagai rotasi searah jarum jam, dan LOW sebagai rotasi berlawanan arah jarum jam. Proses ini terus dilakukan sampai program telah menghitung bahwa semua matriks telah dibaca dan sudah menjadi masukan bagi motor langkah.

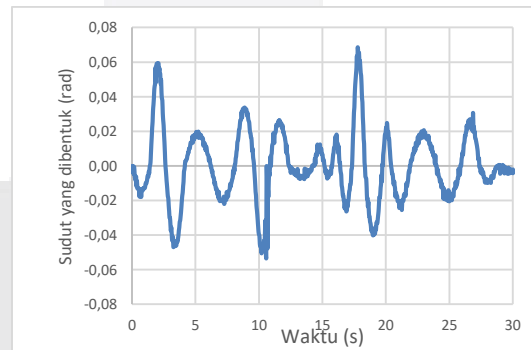


Gambar 4. 2. Grafik Data Masukan Arduino

Untuk mendapatkan gerakan simulasi gelombang laut, digunakan data masukan perubahan sudut gear yang didapatkan dari pengerjaan tugas akhir “Studi Perhitungan Output Generator Arus Searah Berdasarkan Ilustrasi Gerak Transversal Gelombang Laut” [13]. Data perubahan sudut gear yang pada awalnya berjumlah 900 data dalam waktu 30 detik, disederhanakan menjadi 60 data dalam waktu 30 detik untuk mengurangi risiko hentakan pada motor langkah. Data sudut gear kemudian diubah menjadi data perubahan sudut gear dengan menggunakan mengurangi nilai data $n+1$ dengan data n . Agar nilai perubahan sudut pada gerakan motor langkah bisa terlihat untuk simulasi, data perubahan sudut gear dikalikan 10. Perkalian ini diumpamakan sebagai peningkatan rasio gear. Data perubahan sudut gear dibulatkan ke atas untuk memenuhi syarat nilai putaran step yang merupakan bilangan bulat. Setelah nilai step didapatkan, kemudian nilai step kembali didefinisikan ulang berdasarkan bilangan positif atau negatif. Kemudian konotasi positif dan negative diubah menjadi perubahan arah gerak motor langkah, yaitu LOW yang mewakili gerak berlawanan arah jarum jam, dan HIGH yang mewakili gerak searah jarum jam. Dua nilai akhir yang didapatkan (step dan arah putar motor) dimasukkan dalam pemrograman array pada Arduino untuk mensimulasikan gerakan gelombang laut. Pada Gambar 4.3 (b) dapat dilihat perbedaan data masukan dengan jumlah 900 data, sedangkan pada Gambar 4.2 (b) adalah masukan dengan jumlah 60 data. Dari 60 titik yang dibandingkan, terdapat perbedaan yang signifikan pada 7 titik. Hal ini menghasilkan 88,3 % tingkat kemiripan grafik. Nilai tingkat kemiripan grafik ini diperlihatkan pada Gambar 4.3 (a).



(a)

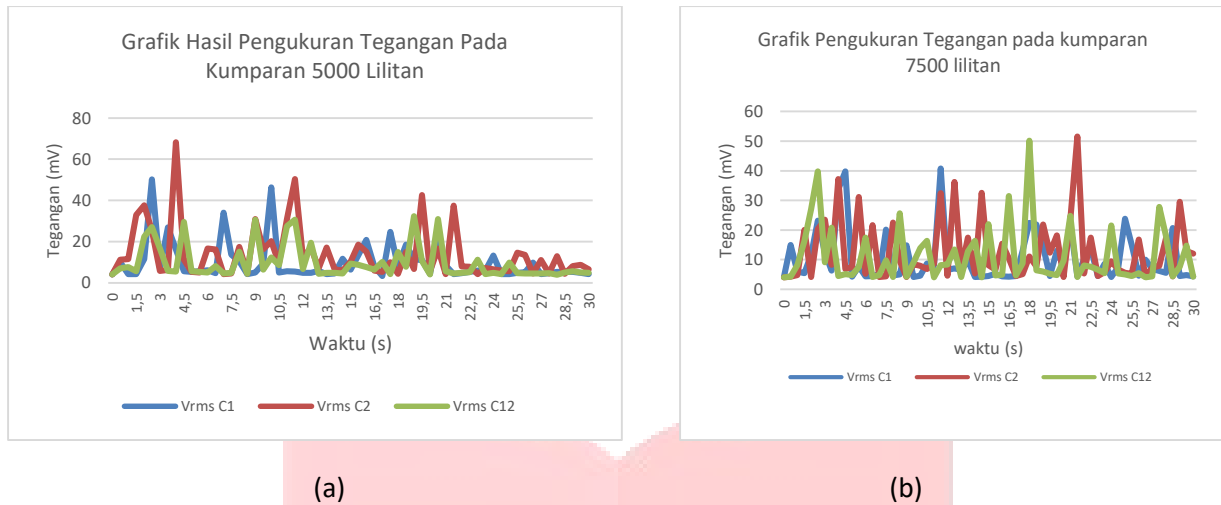


(b)

Gambar 4. 3. Tingkat Kemiripan Grafik (a) Grafik 900 data awal (b)

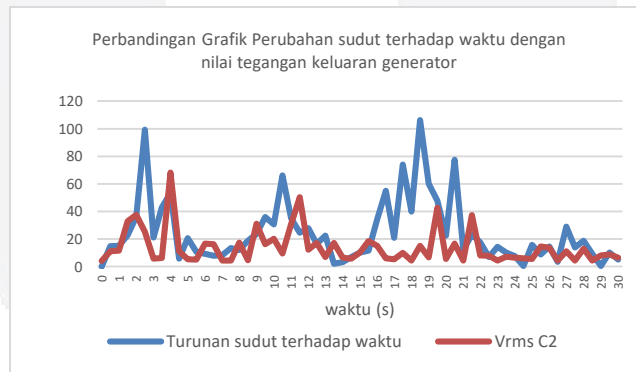
4.3. Pengukuran Tegangan

Pengukuran tegangan yang dihasilkan dilakukan dengan merekam multimeter yang terhubung secara paralel pada titik pengukuran koil. Multimeter digital yang digunakan adalah merk Sanwa tipe CD771 dengan resolusi pengukuran sebesar 1mV. Hasil rekaman multimeter kemudian dibaca dan dicatat sebagai data tiap rentang waktu 0,5 detik sesuai dengan perubahan sudut dari motor langkah. Data tegangan yang diperoleh dari multimeter untuk tegangan merupakan tegangan AC *root mean square* (V_{rms}).



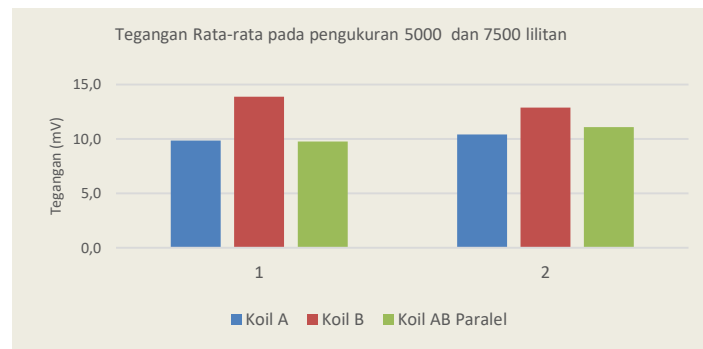
Gambar 4. 4. Hasil Pengukuran tegangan kumputan 5000 lilitan (a) dan 7500 lilitan (b)

Pada gambar 4.4 (a), tertera rangkuman hasil pengukuran besaran listrik pada jumlah kumputan 5000 lilitan dengan variasi koil yang aktif saat pengukuran. Pada keadaan pengukuran GGL pada koil B, didapatkan nilai peak tertinggi yaitu 68,2 mV, hal ini bisa terjadi karena medan magnet yang harus melalui beberapa hambatan, yaitu permukaan pembungkus magnet, air gap, dan selongsong generator sebelum mencapai koil. Nilai hambatan hambatan dan kerapatan dari tiap koil yang berbeda juga berpengaruh terhadap nilai tegangan yang dihasilkan. Untuk pengukuran arus tetap dilakukan, namun karena hasil yang didapatkan arus pada orde uA, dikhawatirkan arus yang terbaca tersebut hanya noise yang dihasilkan oleh system. Pada saat jumlah lilitan ditambah menjadi 7500 lilitan, nilai tegangan yang berdasarkan perhitungan harusnya meningkat, namun berdasarkan hasil pengukuran tidak mengalami kenaikan pada nilai Vrms. Nilai Vrms tertinggi yang didapatkan pada pengukuran 7500 lilitan ada pada kondisi koil B aktif, yaitu 51,5 mV.



Gambar 4. 5. Grafik Perbandingan Grafik Perubahan sudut terhadap waktu dengan nilai tegangan keluaran generator

Untuk menemukan keterkaitan antara kecepatan sudut dan tegangan keluaran, digunakan Gambar 4.5 sebagai perbandingan visual grafik. Berdasarkan persamaan 2.2., untuk kasus Linear Permanent Magnet Generator, nilai B akan terus berubah berdasarkan posisi magnet di dalam generator dengan nilai ω tetap. Pada saat pengukuran serta pencatatan data, error pada alat serta error dari pengambil data dapat mempengaruhi hasil pengukuran yang didapatkan, salah satunya yaitu hasil pengukuran yang tercatat bisa saja berada pada titik waktu pengukuran 0,5 sebelum atau sesudahnya. Pada gambar 4.6 tegangan rata-rata paling tinggi dimiliki oleh koil B baik pada jumlah lilitan 5000 ataupun 7500. Namun pada kondisi peningkatan jumlah lilitan, koil B mengalami penurunan tegangan rata-rata, dibandingkan dengan dua opsi lainnya yang mengalami peningkatan nilai tegangan rata-rata pada saat jumlah lilitan juga ditingkatkan. Untuk peningkatan tegangan rata-rata paling besar dimiliki oleh koil AB parallel.



Gambar 4. 6. Grafik Perbandingan Tegangan Rata-rata variasi jumlah lilitan

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

1. Simulator gelombang laut bisa dijalankan dengan memanfaatkan data perubahan sudut gear yang diterjemahkan ke dalam Bahasa pemrograman Arduino dengan mendefinisikan nilai step dan arah rotasi, dibuktikan dengan perolehan persentase kemiripan grafik sebesar 88,3%, menggunakan motor langkah sebagai representasi gerak gear, serta untuk menggerakkan magnet pada generator menggunakan mekanisme slider-crank.
2. Linear Permanent Magnet Generator terbuat dari bahan penampang koil berupa pipa PVC, kemudian untuk magnet dibungkus dalam filament sehingga dapat bergerak secara linear dengan bantuan connecting rod pada slider-crank, sehingga mampu menghasilkan tegangan pada rentang nilai 4,1 mV hingga 68,2 mV, dimana titik tegangan tertinggi didapatkan pada percobaan 5000 lilitan saat koil B aktif.

5.2. Saran

1. Mengurangi hambatan yang memisahkan antara magnet dengan koil agar besar kuat medan magnet yang sampai ke koil semakin maksimal.
2. Memperhalus putaran motor langkah terutama saat berhenti agar bisa mendapatkan gerakan yang lebih representatif.

Daftar Pustaka

- [1] "Statistik Ketenagalistrikan 2015 Direktorat Jendral Ketenagalistrikan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral," 2015.
- [2] "Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2016 Tentang Kebijakan Energi Nasional" pp.3-4, 2005.
- [3] S. McArthur and T.K. Brekken, "Ocean Wave Power Data Generation for Grid Integration Study," 2010.
- [4] M. Yosi, "Potensi Energi Laut Indonesia," 2014.
- [5] O. Danielson, "Wave Energy Conversion, Linear Synchronous Permanent Magnet Generator," 2006.
- [6] R.S. Theresia, "Perancangan Linear Permanent Magnet Generator untuk Menghasilkan Energi Skala Kecil," 2015.
- [7] E. Selçuk and U. Ibrahim, "Optimization of Transmission Angle for Slider-Crank Mechanism with Joint Clearances," pp. 494-495, 2008.
- [8] D. Maher, E. Walid, and T. Issam, "Chopper Control of a Bipolar Motor langkah," pp. 62-67, 2013.
- [9] T.C. Jeffrey, "Frictionless Linear Electrical Generator for Harvesting Motion Energy," 2004.
- [10] e993, "Connecting Rod and Crank Slider", <<http://e993.com/forex/Connecting-Rod-Crank-and-Slider/>> [diakses 2019]
- [11] Generation Robots, "Bipolar 200 Steps/Rev Motor langkah", <<https://www.generationrobots.com/en/403220-bipolar-200-stepsrev-stepper-motor.html>> [diakses Desember 2019]
- [12] instructables, "Pump It Up! Squid Inc's Positive Displacement Pump", 2015<<https://www.instructables.com/id/Pump-it-up-Squid-Incs-Positive-Displacement-Pump/>> [diakses 2019]
- [13] P. Andrew, "Studi Perhitungan Output Generator Arus Searah Berdasarkan Ilustrasi Gerak Transversal Gelombang Laut," 2018.