

**STUDI PERHITUNGAN GGL OUTPUT GENERATOR ARUS SEARAH
BERDASARKAN ILUSTRASI GERAK TRANSVERSAL GELOMBANG LAUT**
*STUDY CALCULATION OF ELECTROMOTIVE FORCE OUTPUT OF A DIRECT
CURRENT WITH ILLUSTRATION TRANSVERSAL MOVEMENT FROM OCEAN
WAVE*

Andrew Pradana Putra¹, Drs. Suprayogi, M.T.², Ahmad Qurthobi, S.T., M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom.

andrewpradana96@gmail.com¹, spiyogi@yahoo.co.id², qurthobi@gmail.com³

Abstrak

Penelitian ini dirancang untuk mensimulasikan keluaran tegangan generator listrik berdasarkan gerak ombak laut vertikal dengan menggunakan mesin generator terhadap parameter-parameter yang diukur dan menganalisis pengkondisian sinyal yang dihasilkan. Tahap pertama yang dilakukan adalah mengkarakterisasi bentuk gelombang laut dari bidang vertikal nya yang dilakukan di Pantai Pangandaran, Jawa Barat, Indonesia dengan letak koordinat 7°42,047'S 108°39,511'E diambil sampel 30 detik untuk selanjutnya bersifat kontinu. Kemudian energi mekanik yang terjadi disalurkan menggunakan lengan yang tahan terhadap korosi air laut menuju ke sebuah gear yang menyatu dengan rotor dari generator. Di generator energi tersebut di konversikan menjadi energi listrik. Pada penelitian ini digunakan variasi lengan 3 meter, 4 meter, dan 5 meter untuk menghubungkan pelampung ke gear yang akan menggerakkan rotor pada generator, sehingga didapat hasil untuk variasi lengan 3 meter adalah 775.42 V, untuk variasi lengan 4 meter adalah 720.29 V, dan untuk variasi lengan 5 meter adalah 666.15 V. Keluaran dari generator tersebut akan di analisis, sehingga muncul grafik yang berkaitan dengan parameter-parameter yang terukur dan kemudian dianalisis bentuk pengkondisian sinyal nya di komputer. Berdasarkan hasil penelitian semakin kecil ukuran lengan maka semakin besar output yang dihasilkan.

Kata Kunci: generator, gelombang laut, energi mekanik, energi listrik, dan pembangkit listrik tenaga gelombang laut.

Abstract

This research is conducted to simulate the electric voltage generator's output by using the generator for measured parameters and analyse the conditioning signal. The first stage is characterize the waveform of the ocean that is taken in Pangandaran Beach, West Java, Indonesia with the location of coordinates 7 ° 42,047'S 108 ° 39,511 sample time taken by 30 seconds with the assumption for next is continuous. Then the mechanical energy that occurs is distributed using arm which resist of corrosion that connected with rotor of the generator. In generator energy is converted into electrical energy. This research using 3 variances of the arm, 3 metre, 4metre, and 5 metre, so the result of 3 meter arm is 775.42 V, 4 meter arm is 720.29 V, and 5 meter arm is 666.15 V. The output of the generator will be analyse the form of signal conditioning in the computer and calculate by the simulation, than resulting the graph of the parameters which measured. Based on the result of this research that smaller size of the arm then the result of output electromotive force is bigger.

Keywords: generator, ocean wave, mechanical energy, electrical energy, and ocean wave power plants.

1. Pendahuluan

Seiring perkembangan zaman, kebutuhan akan energi semakin meningkat. Tetapi hal ini tidak diimbangi oleh pasokan energi yang memadai karena terbatasnya energi fosil. Untuk itu kita harus menemukan alternatif sumber energi lain yang dapat menghasilkan energi secara kontinu demi berlangsungnya kehidupan manusia, yaitu menggunakan energi terbarukan yang tersedia sepanjang waktu.

Indonesia merupakan negara kepulauan yang sebagian besar wilayahnya adalah laut, kekayaan alam yang menjadi sumber mata pencaharian untuk beberapa masyarakat di Indonesia. Namun, pemanfaatannya masih termasuk minim dan belum sepenuhnya dimanfaatkan oleh pemerintah sebagai sumber energi. Di beberapa laut Indonesia, seperti pantai barat Pulau Sumatera, pantai selatan Jawa, kepulauan Nusa Tenggara Timur, di perairan laut Kepulauan Natuna dan di laut di wilayah Indonesia Bagian Timur memiliki potensi untuk digali energi gelombangnya karena memiliki gelombang laut yang cukup potensial dikonversikan

menjadi energi listrik, sebagai sumber energi alternatif pengganti bahan bakar fosil. Kian menipisnya bahan bakar fosil di bumi, maka dirasa harus menemukan solusi dari masalah tersebut [1].

Didasari hal tersebut, maka akan diteliti mengenai output daya yang dihasilkan oleh gerak ombak yang berpengaruh pada generator yang dipasangkan pada suatu pembangkit. Ombak merupakan sumber energi yang cukup besar yang memanfaatkan gerakan air laut yang turun-naik, sedangkan energi ombak adalah energi alternatif yang dibangkitkan melalui efek gerakan udara akibat fluktuasi pergerakan gelombang. Dengan memanfaatkan gerak ombak laut yang tidak ada habisnya sebagai pembangkit listrik, hal tersebut merupakan salah satu cara mengurangi permasalahan energi di Indonesia [2].

Pada penelitian yang ditulis oleh Lelly Erlita Safitri, Studi Potensi Energi Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Oscillating Water Column (OWC) di Perairan Pesisir Kalimantan Barat dilakukan perhitungan potensi energi listrik tenaga gelombang laut sistm OWC (Oscillating Water Column) di pesisir Kalimantan Barat. Penelitian dilakukan pada 15 titik di pesisir Kalimantan Barat. Penelitian ini menggunakan data kecepatan angin tahun 2006 s.d. 2014 untuk menentukan nilai tinggi signifikan dan periode gelombang menggunakan metode Wilson. Analisis daya listrik dilakukan pada empat kondisi musim yang ada di Indonesia, yaitu musim barat, peralihan I, musim timur dan peralihan II. Rata-rata daya listrik yang dihasilkan untuk musim barat berkisar 831,53 s.d. 229.404,42 Watt, untuk peralihan I berkisar 161,35 s.d. 22.585,14 Watt. Sedangkan untuk musim timur berkisar 301,35 s.d. 265.620,97 Watt dan untuk peralihan II berkisar 139,64 s.d. 164.495,99 Watt. Daya listrik tertinggi berada di Pantai Pulau Karimata, Kab. Kayong Utara pada musim barat dengan nilai sebesar 831.370,47 Watt. Sedangkan daya listrik terendah berada di Pantai Pulau Datok, Kab. Kayong Utara pada kondisi peralihan I dengan nilai sebesar 0,007 Watt [3].

Fokus dari penelitian ini adalah menganalisis karakteristik output sinyal dari generator berdasarkan gerak ombak, mengubah energi yang dihasilkan ombak laut dengan menggunakan sistem dari prinsip kerja generator. Energi mekanik yang disebabkan oleh gerak transversal gelombang mengakibatkan putaran pada generator untuk menghasilkan energi listrik yang kemudian tegangan yang dihasilkan akan dialirkan ke jaringan-jaringan sistem untuk digunakan masyarakat.

2. Dasar Teori

2.1 Gaya Gerak Listrik

Gaya gerak listrik adalah perubahan dari suatu bentuk energi ke bentuk energi listrik. Besar gaya gerak listrik dari suatu sumber secara kuantitatif dapat diartikan sebagai energi setiap satuan muatan listrik yang melalui sumber itu.

Satuan GGL (ϵ) dapat diperoleh dari hubungan persamaan diatas. Jika diturunkan, maka diperoleh bahwa satuan GGL adalah J/C atau Volt [4].

Fluks magnet diartikan sebagai perkalian antara medan magnet B (baca: medan magnet) dengan luas bidang A yang letaknya tegak lurus dengan induksi magnetnya. Secara matematis rumus fluks adalah [5]

$$\Phi = BA \quad 2.1$$

Faktanya, induksi magnet B tidak selalu tegak lurus pada bidang, bisa membentuk sudut tertentu. Misalkan ada sebuah induksi medan magnet yang membentuk sudut teta dengan garis normal maka besarnya fluks magnet yang dihasilkan adalah [5] :

$$\Phi = BA \cos\theta \quad 2.2$$

Secara matematis ggl yang dihasilkan dapat ditentukan dengan menggunakan rumus [5]:

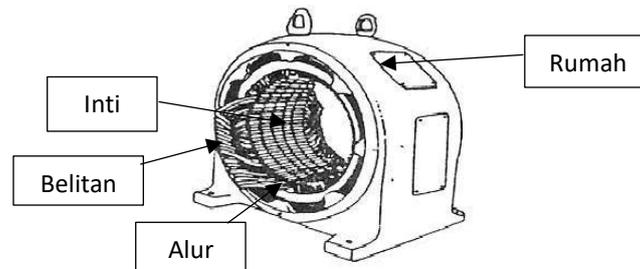
$$\epsilon = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad 2.3$$

2.2 Generator

Generator adalah suatu alat / sistem yang dapat mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik dan menghasilkan tenaga listrik bolak-balik atau tenaga listrik searah tergantung pada tipe generator. Prinsip kerja generator berdasarkan Hukum Faraday tentang induksi elektromagnetik yaitu bila suatu konduktor digerakkan dalam medan magnet, maka akan membangkitkan gaya gerak listrik. Konstruksi utama generator terdiri dari Stator dan Rotor. Stator adalah bagian yang diam sedangkan rotor adalah bagian yang bergerak.[6].

2.2.1 Stator

Stator merupakan elemen diam yang terdiri dari Rangka Stator, Inti Stator dan belitan-belitan Stator (belitan jangkar). Rangka stator terbuat dari besi tuang dan merupakan rumah dari semua bagian-bagian generator. Rangka stator ini berbentuk lingkaran dimana sambungan-sambungan pada rusuknya akan menjamin generator terhadap getaran-getaran. Inti stator terbuat dari bahan ferromagnetic atau besi lunak disusun berlapis-lapis disusun berlapis-lapis tempat terbentuknya fluks magnet. Sedangkan belitan stator terbuat dari tembaga disusun dalam alur-alur, belitan stator berfungsi tempat terbentuknya gaya gerak listrik [6].



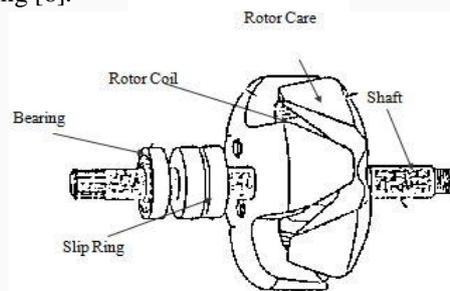
Gambar 2.1 Konstruksi Stator

2.2.2 Rotor

Rotor adalah merupakan elemen yang berputar, pada rotor terdapat kutub-kutub magnet dengan lilitan-lilitan kawatnya dialiri oleh arus searah. Kutub magnet rotor terdiri dua jenis yaitu :

- Rotor kutub menonjol (salient), adalah tipe yang dipakai untuk generator-generator kecepatan rendah dan menengah .
- Rotor kutub tidak menonjol atau rotor silinder digunakan untuk generator-generator turbo atau generator kecepatan tinggi.

Kumparan medan pada rotor disuplai dengan medan arus searah untuk menghasilkan fluks dimana arus searah tersebut dialirkan ke rotor melalui sebuah cincin. Jadi, jika rotor berputar maka fluks magnet yang timbul akibat arus searah tersebut akan memotong konduktor dari stator yang mengakibatkan timbulnya gaya gerak listrik. Belitan searah pada struktur medan yang berputar dihubungkan ke sebuah sumber luar melalui slipring atau brush. Slipring ini berputar bersama-sama dengan poros dan rotor. Banyaknya slipring ada dua buah dan pada tiap-tiap slipring dapat menggeser brostel yang masing-masing merupakan positif dan negatif guna penguatan ke lilitan medan pada rotor. Slipring terbuat dari besi baja, kuningan atau tembaga yang dipasang pada poros dengan memakai bahan isolasi. Untuk membangkitkan arus searah dibutuhkan sebuah system penguat atau Exiter, suplai diperoleh dari pembangkit itu sendiri kemudian disearahkan seterusnya dikembalikan ke rotor melalui slipring [6].



Gambar 2.2 Konstruksi Rotor.

2.3 Generator DC

Motor generator DC berfungsi untuk mengubah energi mekanis yang didapatkan dari mesin menjadi energi listrik, menghasilkan arus searah, motor generator DC mensuplai kebutuhan listrik pada mobil sewaktu mesin hidup. Tetapi apabila jumlah pemakaian listrik lebih besar daripada yang dihasilkan motor generator DC, maka baterai ikut memikul beban kelistrikan tersebut [7].

Prinsip kerja Generator DC menggunakan prinsip Hukum Faraday yang berbunyi “Ketika sebuah medan magnet berputar secara terus menerus memotong kumparan maka akan membangkitkan beda potensial pada kumparan tersebut.”

Sehingga, saat rotor diputar dalam pengaruh medan magnet maka akan terjadi perpotongan medan magnet oleh lilitan kawat pada rotor. Hal ini akan menimbulkan Gaya Gerak Listrik (GGL). Gaya Gerak Listrik maksimal dihasilkan saat posisi kumparan tegak lurus dengan arah fluks magnet, dimana arah fluks magnet adalah dari kutub utara menuju kutub selatan. Begitu juga, untuk Gaya Gerak Listrik minimum timbul saat posisi kumparan sejajar dengan arah fluks magnet.

2.4 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL)

2.4.1 Sistem Off-Shore

Dirancang pada kedalaman 40 meter dengan mekanisme kumparan yang memanfaatkan pergerakan gelombang untuk memompa energi. Listrik dihasilkan dari gerakan relatif antara

pembungkus luar (external hull) dan bandul dalam (internal pendulum). Naik-turunnya pipa pengampung di permukaan yang mengikuti gerakan gelombang berpengaruh pada pipa penghubung yang selanjutnya menggerakkan rotasi turbin bawah laut. Cara lain untuk menangkap energi gelombang laut dengan sistem off-shore adalah dengan membangun sistem tabung dan memanfaatkan gerak gelombang yang masuk ke dalam ruang bawah pelampung sehingga timbul perpindahan udara ke bagian atas pelampung. Gerakan perpindahan udara inilah yang menggerakkan turbin [11].

2.4.2 Sistem On-Shore

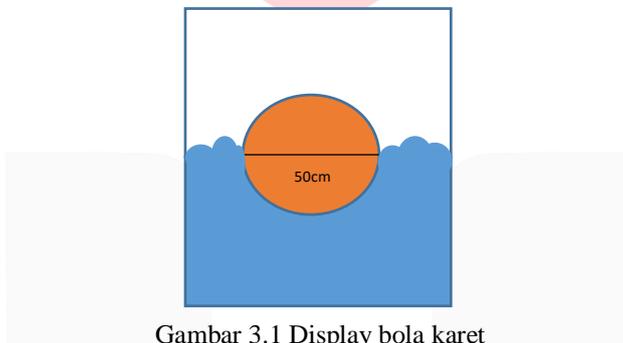
Pada sistem on-shore, ada 3 metode yang dapat digunakan, yaitu channel system, float system, dan oscillating water column system. Secara umum, pada prinsipnya, energi mekanik yang tercipta dari sistem-sistem ini mengaktifkan generator secara langsung dengan mentransfer gelombang fluida (air atau udara penggerak) yang kemudian mengaktifkan turbin generator [11].

3. Pembahasan

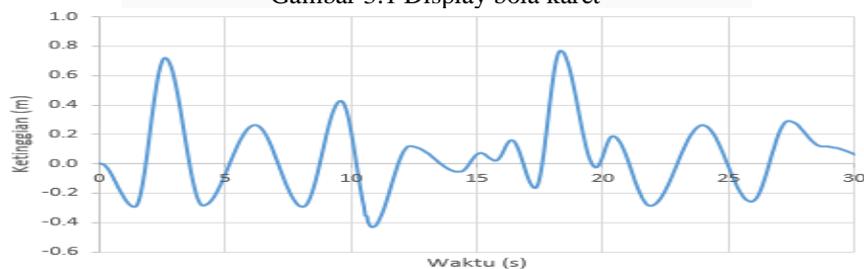
3.1 Karakterisasi Gelombang Laut

Tahap awal yang dilakukan dalam penelitian ini adalah menentukan karakteristik gelombang di laut Indonesia dengan mengambil salah satu sampel di Pantai Pangandaran, Jawa Barat, Indonesia. Pengamatan gelombang laut ini ditinjau pada bidang vertikal gelombang. Media yang digunakan untuk mengetahui karakter gelombang laut tersebut adalah:

- Menggunakan bola baja diameter 50cm yang ditempelkan dengan pelampung berbentuk balok dengan asumsi memiliki volume yang cukup besar.
- Kamera untuk mengambil video pergerakan dari gelombang laut.
- Komputer untuk menayangkan hasil rekaman video gelombang laut dan diolah menjadi grafik $y(t)$.

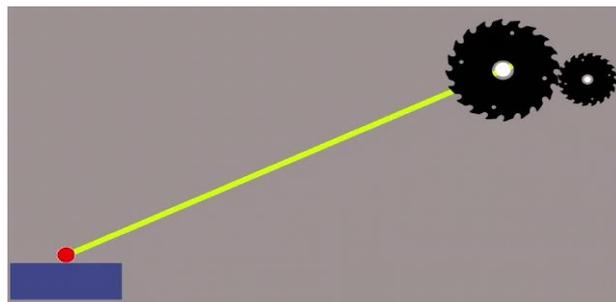


Gambar 3.1 Display bola karet



Gambar 3.2 Grafik Ketinggian gelombang terhadap waktu

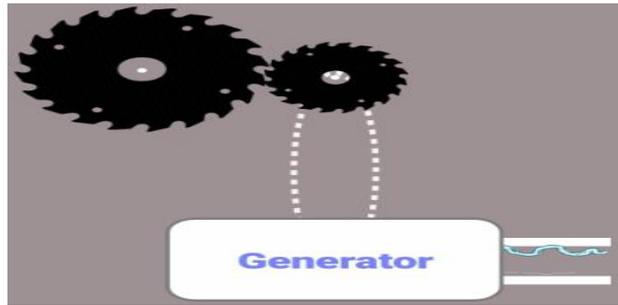
3.2 Perancangan Simulasi



Gambar 3.3 Perancangan Sistem.

Berdasarkan sistem tersebut akan terjadi Gerak Translasi pada pelampung, karena pelampung akan bergerak naik-turun dengan bentuk dan lintasan yang sama pada tiap titiknyanya. Dan pada gear akan terjadi

Gerak Rotasi karena saat pelampung bergerak maka gear akan bergerak dengan lintasan melingkar dan bentuk yang sama.



Gambar 3.4 Perancangan Sistem terhubung ke Generator.

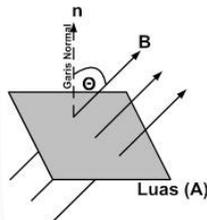
3.3 Perhitungan keluaran GGL Output Generator.

Gaya gerak listrik induksi adalah timbulnya gaya gerak listrik di dalam kumparan yang mencakup sejumlah fluks garis gaya medan magnetik, bilamana banyaknya fluks garis gaya itu divariasasi. Dengan kata lain, akan timbul gaya gerak listrik di dalam kumparan apabila kumparan itu berada di dalam medan magnetik yang kuat medannya berubah-ubah terhadap waktu. Digunakan persamaan sebagai berikut [5]:

$$\epsilon = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \dots \dots \dots (3.1)$$

Fluks magnetik adalah ukuran atau jumlah medan magnet B yang menembus luas penampang kumparan, atau sering disebut juga dengan kerapatan medan magnet.

Fluks magnetik yang melalui bidang tertentu akan sebanding dengan jumlah medan magnet yang melalui bidang tersebut. Jika medan magnet seragam melalui bidang dengan tegak lurus, nilai fluks magnetik didapat dari perkalian antara medan magnet dan luas bidang yang dilaluinya. Fluks magnetik yang datang dengan sudut tertentu diperoleh menggunakan perkalian titik antara medan magnet dan vektor luas bidang seperti pada Gambar 3.5 [5] :



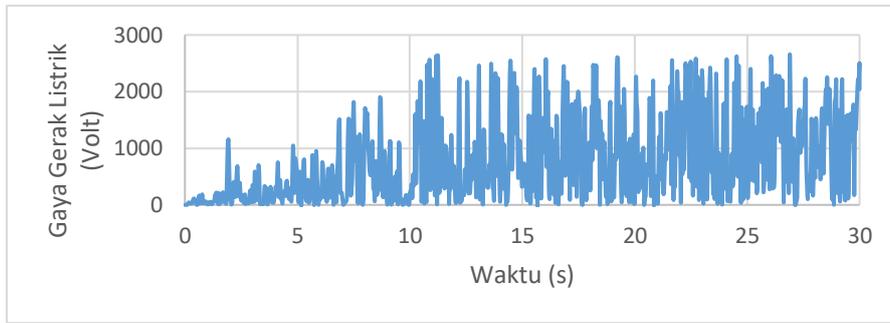
Gambar 3.5 Ilustrasi terjadinya fluks magnet

$$\Phi = BA \cos\theta \dots \dots \dots (3.2)$$

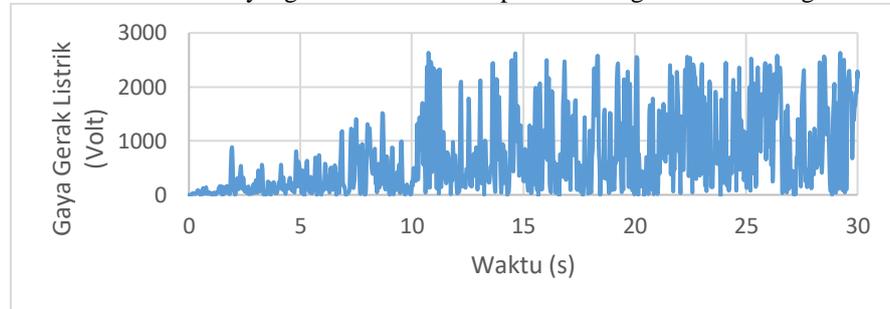
- B=Induksi Magnetik
- A=Luas bidang yang ditembus
- n=Garis normal
- θ=Sudut antara arah induksi magnet dengan arah garis normal bidang

Induksi magnetic tegak lurus bidang B dengan luas bidang A. Sehingga,

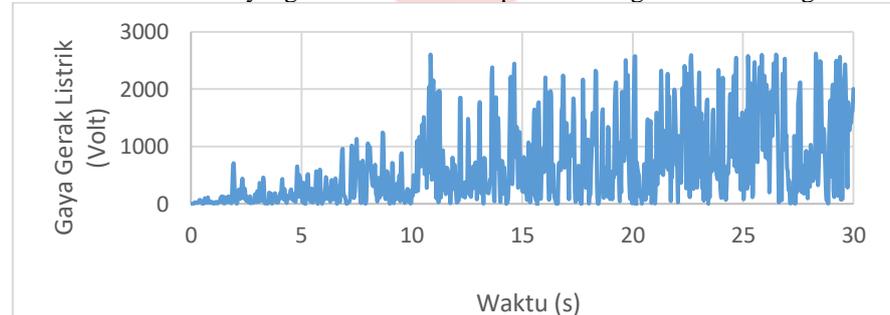
$$\begin{aligned} \Phi &= B \perp A = B (\cos\theta)A \\ \Phi &= BA \cos(\theta) \\ \Phi &= BA \cos(\omega t) \\ \epsilon &= -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \\ \epsilon &= \frac{-N[BA \cos(\omega t)_n - (BA \cos(\omega t)_{n-1})]}{(t_n - t_{n-1})} \end{aligned} \dots \dots \dots (3.3)$$



Gambar 3.6 Grafik GGL yang dihasilkan terhadap waktu dengan variasi lengan 3 meter.



Gambar 3.7 Grafik GGL yang dihasilkan terhadap waktu dengan variasi lengan 4 meter.

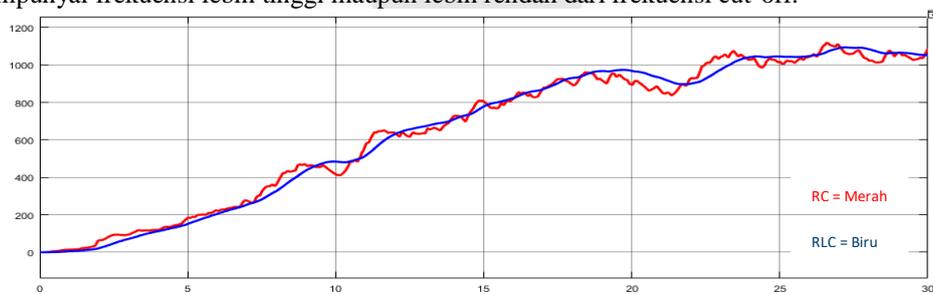


Gambar 3.8 Grafik GGL yang dihasilkan terhadap waktu dengan variasi lengan 5 meter.

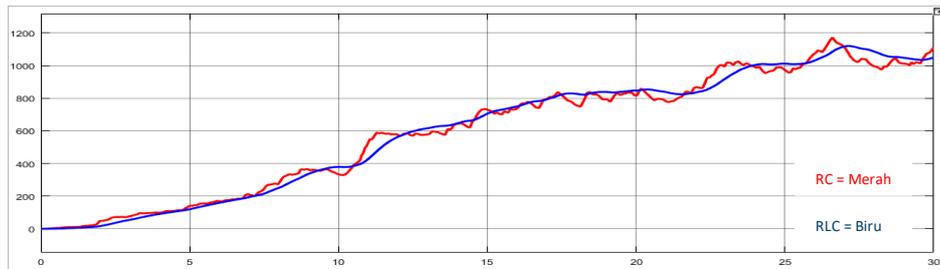
Fungsi Transfer adalah perbandingan kendali, yakni perbandingan antara keluaran suatu sistem pengendalian terhadap masukannya. Berdasarkan persamaan (4.6) sebagai berikut:

$$Fungsi\ Transfer = \frac{C(s)}{R(s)} \tag{3.4}$$

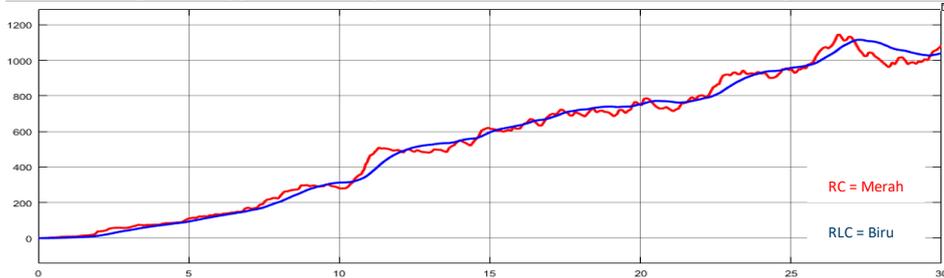
Dari output yang dihasilkan, maka dibuat lah rangkaian RC orde 1 dan RLC orde 2 yang berfungsi untuk melewatkan sinyal dengan frekuensi yang lebih rendah da frekuensi cut-off (f_c), dimana frekuensi cut-off adalah frekuensi yang menjadi batas untuk melewatkan atau menghalangi sinyal masukkan yang mempunyai frekuensi lebih tinggi maupun lebih rendah dari frekuensi cut-off.



Gambar 3.9 Grafik output menggunakan rangkaian RC orde 1 dan RLC orde 2 dengan variasi lengan 3 meter.



Gambar 3.10 Grafik output menggunakan rangkaian RC orde 1 dan RLC orde 2 dengan variasi lengan 4 meter.



Gambar 3.11 Grafik output menggunakan rangkaian RC orde 1 dan RLC orde 2 dengan variasi lengan 5 meter.

4. Kesimpulan

Gerak transversal gelombang laut dapat di konversi menjadi pembangkit listrik karena adanya sebuah generator yang berfungsi sebagai alat yang mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Hasil output V_{rms} dari simulasi GGL untuk Variansi lengan 3 meter = 1059.473978 V, Variansi lengan 4 meter = 1017.332163 V, Variansi lengan 5 meter = 951.1305432 V. Hasil rata-rata GGL output berdasarkan variasi lengan dari simulasi untuk Variansi lengan 3 meter = 775.42715509 V, Variansi lengan 4 meter = 720.29632510 V, Variansi lengan 5 meter = 666.15300746 V. Hasil Output terbesar menggunakan variasi lengan 3 meter. Jadi semakin kecil ukuran lengan, maka semakin besar output GGL yang dihasilkan. Hasil dari Standar Deviasi output GGL berdasarkan variasi lengan dari simulasi dengan Variansi lengan 3 meter = 722.33982596, Variansi lengan 4 meter = 718.82641859, Variansi lengan 5 meter = 679.26547113. berikut juga disimulasikan besar frekuensi dominan adalah sebesar 1 Hz untuk masing-masing variasi lengan.

5. Referensi

- [1]. Riri Lazzoria Eka Putri¹, Ir. Mas Sarwoko², Angga Rusdinar Ph.D³, dan Kharisma Bani Adam MT.⁴. 2016. *Design and Implementation of Ocean Wave Power Plant USDC Generator system to charging battery electric boat*. Bandung : Telkom University.
- [2] Fitra Ramadhanti. 2014. *Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTG)*. Padang : Universitas Negeri Padang.
- [3] Lelly Erlita Safitria¹, Muh. Ishak Jumaranga², dan Apriansyah³. *Studi Potensi Energi Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Oscillating Water Column (OWC) di Perairan Pesisir Kalimantan Barat*. Pontianak : Universitas Tanjungpura.
- [4] Sri Suratmi. 1995. *Listrik Magnet*. Bandung. Hal 99 – 100.
- [5] Muhammad Akrom S.Si. 2013. *Supertuntas Bahas dan Kupas Fisika SMA*. Jakarta : Pandamedia. Hal : 325.
- [6] Ardhinata Sanjaya Putra. 2013. *Generator AC dan DC*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- [7] Supardi, Agus¹, Aris Budiman², Nor Rahman Khairudin³. 2015. *Pengaruh kecepatan putar dan beban terhadap keluaran generator induksi 1 fasa kecepatan rendah*. Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta. Vol. 16 No. 01.
- [8] Tri Yusti Nurmeida. 2015. *GGL Imbas*. Bandung.
- [9] Ujang Faturohman. 2015. *Simulasi Magnetostatik pada motor induksi tiga fasa menggunakan metode elemen hingga*. Lampung : Universitas Lampung.
- [10] Ikhwan Zuhri. 2015. *Karakteristik Generator DC Eksitasi Terpisah (Sendiri tipe kompon)*. Semarang : Politeknik Negeri Semarang.
- [11] Fadly Elwin. 2011. *Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut*. Pematang Siantar.
- [12] I Wayan Arta Wijaya. 2010. *Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut menggunakan teknologi Oscillating Water Column di perairan Bali*. Bali : Universitas Udayana. Vol. 09 No. 02.