

SKRIPSI
RANCANG BANGUN GENERATOR LINIER UNTUK KONVERSI
ENERGI GELOMBANG AIR LAUT

OLEH:

AHMAD ASADUL KADAR

D411 16 507



DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2021

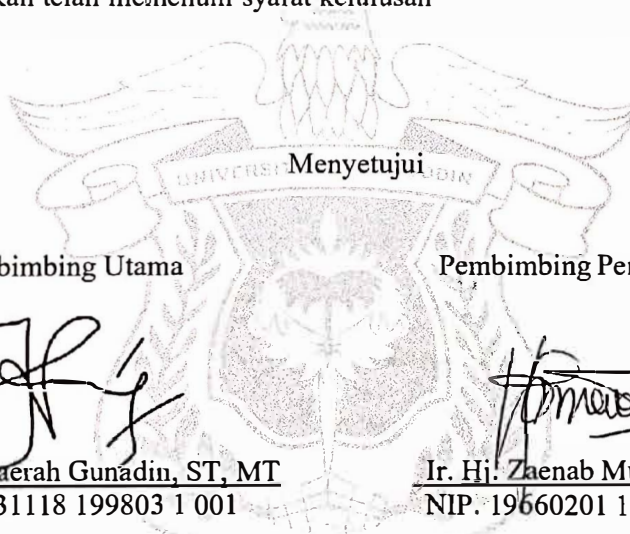
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

**RANCANG BANGUN GENERATOR LINIER UNTUK KONVERSI
ENERGI GELOMBANG AIR LAUT**

Disusun dan diajukan oleh :

**AHMAD ASADUL KADAR
D411 16 507**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 2 Juni 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan



Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

Dr. Indar Chaerah Gunadin, ST, MT
NIP. 19731118 199803 1 001

Ir. Hj. Zaenab Muslimin, MT
NIP. 19660201 199202 2 002

Ketua Program Studi



Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT.
NIP. 19691026 199412 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Ahmad Asadul Kadar
NIM : D41116507
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Rancang Bangun Generator Linier untuk Konversi Energi Gelombang Air Laut

Adalah karya tulisan saya sendiri, bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi/tesis/disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 2 Juni 2021

Yang Menyatakan



Ahmad Asadul Kadar

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena rahmat dan karunia-Nya lah sehingga penulisan laporan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Laporan skripsi ini ditulis untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan pada pendidikan Strata Satu Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar. Adapun judul tugas akhir adalah “Rancang Bangun Generator Linier untuk Konversi Energi Gelombang Air Laut”

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi masih terdapat kekurangan, hal ini disebabkan penulis sebagai manusia biasa yang tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu penulis menerima saran dan kritik, segala koreksi serta perbaikan guna penyempurnaan tulisan ini agar kelak dapat bermanfaat.

Skripsi ini dapat terwujud berkat adanya bantuan, arahan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua Orang Tua dan Keluarga, terima kasih atas doa dan dukungan yang diberikan kepada penulis
2. Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT, selaku Kepala Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Dr. Indar Chaerah Gunadin, ST, MT selaku Pembimbing I dan Ibu Ir. Hj. Zaenab Muslimin, MT selaku Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam penulisan laporan skripsi ini.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Nadjamuddin Harun, MS dan Bapak Yusri Syam Akil, ST, MT, Ph.D selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik yang membangun serta saran yang baik kepada penulis dalam mengerjakan skripsi ini.
5. Segenap Dosen Departemen Teknik Elektro, atas segala ilmu yang bermanfaat, wawasan dan pengalaman yang telah diberikan kepada penulis.
6. Segenap Staf pegawai Departemen Teknik Elektro, yang telah banyak membantu dalam hal administrasi.

7. Seluruh teman-teman EXCITER16, yang menjadi teman seperjuangan penulis selama perkuliahan.
8. Arcenciel Core yang selalu menyemangati dan mendukung penulis.
9. Nandemonai yang menjadi teman skripsi penulis.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.

Makassar, 2 Juni 2021

Penulis

DAFTAR ISI

SAMPUL SKRIPSI	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Gelombang Laut.....	4
2.2 Pemanfaatan Gelombang Laut Sebagai Energi Terbarukan	5
2.2.1 Sistem <i>off-shore</i> (Lepas Pantai)	5
2.2.2 Sistem <i>on-shore</i> (Pantai).....	6
2.3 Pengaplikasian Generator Linier.....	8
2.4 Generator.....	9
2.4.1 Generator Konvensional.....	9
2.4.2 Generator Linier	10
2.4.3 Generator Linier magnet permanen	13
BAB III METODE PENELITIAN	16
3.1 Judul Penelitian	16
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	16
3.3 Alat dan Bahan.....	16

3.4	Jenis Penelitian.....	17
3.5	Diagram Alur Penelitian	18
3.6	Perancangan Generator Linier.....	20
3.6.1	Stator	21
3.6.2	Rotor.....	26
3.6.3	Rangkaian Elektronik.....	29
3.6.4	Dudukan Stator dan Rotor.....	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		33
4.1	Hasil Percobaan dan Analisis.....	33
4.2	Tegangan pada Generator Linier.....	43
4.3	Persentase Kesalahan Pengukuran pada Generator Linier.....	45
4.3.1	Persentase Kesalahan Pengukuran pada Tegangan Generator Linier	45
4.3.2	Persentase Kesalahan Pengukuran pada Arus Generator Linier ...	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		48
5.1	Kesimpulan	48
5.2	Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA		50
LAMPIRAN.....		51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi terbentuknya gelombang laut	4
Gambar 2.2 Pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem off-shore [3].....	6
Gambar 2.3 Skema Sistem Kanal [2].....	7
Gambar 2.4 Skema Sistem Pelampung [2]	7
Gambar 2.5 Sistem Ocillating Water Column [2].....	8
Gambar 2.6 Pengaplikasian generator linier (a) pada sistem on-shore dan off-shore [4], (b) pada gerakan kapal, dan (c) pada pembangkit tenaga bayu....	9
Gambar 2.7 Perubahan generator berputar menjadi generator Linier [6]	11
Gambar 2.8 Translator atau rotor pada generator linier [6]	12
Gambar 2.9 Kurva demagnetisasi magnet permanen [6].....	13
Gambar 3.1 Diagram alur penelitian.....	19
Gambar 3.2 Rancangan generator linier.....	20
Gambar 3.3 Detail stator dan rotor.....	21
Gambar 3.4 Tipe susunan belitan yang diuji.....	22
Gambar 3.5 Model Stator Generator Linier	22
Gambar 3.6 Mempersiapkan pembatas untuk proses melilit kumparan stator	23
Gambar 3.7 Proses melilit kumparan	24
Gambar 3.8 Proses pembuatan kumparan stator	25
Gambar 3.9 Tipe susunan magnet neodmium yang diuji.....	26
Gambar 3.10 Model Rotor Generator Linier.....	27
Gambar 3.11 Pemisahan Magnet untuk Rotor 3	28
Gambar 3.12 Proses Memasukkan Magnet kedalam Rumah Rotor	28
Gambar 3.13 (a) penyearah gelombang dan LED, (b) rangkaian penyearah gelombang penuh	30
Gambar 3.14 Dudukan Rotor	31
Gambar 3.15 Dudukan Stator.....	31
Gambar 3.16 Dudukan Stator dan Rotor.....	32
Gambar 4.1 Grafik Tegangan Generator Stator 1 Berbeban Terhadap Kecepatan Generator.....	34
Gambar 4.2 Grafik Tegangan Generator Stator 2 Berbeban Terhadap Kecepatan Generator.....	34
Gambar 4.3 Grafik Tegangan Generator Stator 3 Tanpa Beban Terhadap Kecepatan Generator.....	37
Gambar 4.4 Grafik Arus Generator Stator 1 Berbeban Terhadap Kecepatan Generator.....	38
Gambar 4.5 Grafik Arus Generator Stator 2 Berbeban Terhadap Kecepatan	

Generator.....	39
Gambar 4.6 Grafik Arus Generator Stator 3 Tanpa Beban Terhadap Kecepatan Generator.....	40
Gambar 4.7 Grafik Daya Generator Stator 1 Berbeban Terhadap Kecepatan Generator.....	41
Gambar 4.8 Grafik Daya Generator Stator 2 Berbeban Terhadap Kecepatan Generator.....	42
Gambar 4.9 Grafik Daya Generator Stator 3 Tanpa Beban Terhadap Kecepatan Generator.....	42

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Alat Yang Digunakan Dalam Pembuatan Alat Dan Pengolahan Data .	16
Tabel 3.2 Bahan Yang Digunakan Dalam Pembuatan Alat.....	17
Tabel 3.3 Ukuran Stator Generator Linier	25
Tabel 3.4 Ukuran Rotor Gelerator Linier.....	29
Tabel 4.1 Tegangan generator terhadap kecepatan generator	33
Tabel 4.2 Arus generator terhadap kecepatan generator.....	38
Tabel 4.3 Daya generator terhadap kecepatan generator	41

ABSTRAK

Ahmad Asadul Kadar, Rancang Bangun Generator Linier untuk Konversi Energi Gelombang Air Laut (dibimbing oleh Indar Chaerah Gunadin dan Zaenab Muslimin).

Indonesia sebagai negara yang terdiri dari banyak kepulauan, dimana 2/3 bagian wilayah Indonesia berupa perairan, memiliki potensi yang besar untuk memanfaatkan wilayah perairan ini untuk memenuhi kebutuhan sumber energi untuk masyarakat. Generator linier gelombang air laut merupakan salah satu solusi dari pemanfaatan wilayah perairan Indonesia dan energi terbarukan yang memanfaatkan gerakan naik turun gelombang laut menjadi energi listrik. Pada penelitian ini memiliki tujuan untuk merancang prototipe generator linier yang mengkonversi energi gelombang laut menjadi energi listrik dan menguji kinerja generator linier. Pembuatan alat ini dilakukan melalui beberapa tahap yaitu tahap perancangan mekanik, perancangan elektronik, dan pengujian alat. Generator linier terdiri atas 2 bagian yaitu rotor dan stator, yang masing-masing memiliki 3 macam bentuk dalam pengujian. Uji coba yang dilakukan dengan 3 kecepatan berbeda yaitu 95 rpm, 110 rpm, dan 125 rpm. Saat kecepatan 95 rpm tegangan terbesar didapatkan saat menggunakan stator 2 dan rotor 1 sebesar 3.1 Volt, saat kecepatan 110 rpm tegangan terbesar didapatkan saat menggunakan stator 2 dan rotor 1 sebesar 3.35 Volt, dan saat kecepatan 125 rpm tegangan terbesar didapatkan saat menggunakan stator 2 dan rotor 1 sebesar 3.6 Volt.

Kata kunci : Energi gelombang laut, pembangkit listrik tenaga gelombang laut, energi terbarukan, generator linier, generator magnet permanen.

ABSTRACT

Ahmad Asadul Kadar, Design of Linear Generator to Convert Energy of Sea Water Waves (supervised by Indar Chaerah Gunadin and Zaenab Muslimin).

Indonesia as a country consisting of many islands, where $\frac{2}{3}$ of Indonesia's territory is water, has a great potential to utilize this marine area to meet the needs of energy sources for the community. Seawater wave linear generator is one of the solutions for the utilization of Indonesian waters and renewable energy that utilizes the up and down movement of ocean waves into electrical energy. This research aims to design a linear generator prototype that converts ocean wave energy into electrical energy and test the linear generator performance. The manufacture of this tool is carried out in several stages, namely the mechanical design stage, electronic design, and tool testing. The linear generator consists of 2 parts, namely the rotor and stator, each of which has 3 different forms in the test. The trials were carried out at 3 different speeds, namely 95 rpm, 110 rpm and 125 rpm. When the speed of 95 rpm the greatest voltage is obtained when using stator 2 and rotor 1 at 3.1 Volt, when the speed of 110 rpm the greatest voltage is obtained when using stator 2 and rotor 1 at 3.35 volts, and when the speed is 125 rpm the greatest voltage is obtained when using stator 2 and rotor 1 at 3.6 Volt.

Key words: Ocean wave energy, ocean wave power plant, renewable energy, linear generator, permanent magnet generator.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan zaman, pertumbuhan penduduk dan pengembangan setiap wilayah di Indonesia dari tahun ke tahun, kebutuhan akan energi listrik secara nasional semakin besar. Selama ini kebutuhan akan energi listrik di Indonesia dipenuhi dengan mengolah sumber daya tak terbarukan seperti batu bara, minyak bumi dan lain-lain. Kita tidak dapat memungkiri bahwa kita sangat bergantung pada penggunaan sumber daya tak terbarukan ini. Permasalahannya adalah jika penggunaan sumber daya tak terbarukan dilakukan secara terus menerus maka sumber daya ini akan segera habis. Hal ini disebabkan karena sumber daya tak terbarukan terbentuk melalui proses yang sangat lama, dapat memakan waktu hingga jutaan tahun sehingga tidak dapat langsung diperbaharui.

Contohnya bahan bakar fosil, jumlah bahan bakar fosil sangat mempengaruhi jumlah suplai sumber energi listrik. Berkurangnya bahan bakar fosil tentu akan mempengaruhi stok energi listrik yang mengakibatkan suplai energi listrik kepada pengguna tidak terpenuhi. Sebagai contoh adalah persediaan batubara untuk pembangkit listrik tenaga uap. Apabila jumlah persediaan batubara berkurang tentu akan mempengaruhi daya yang dibangkitkan oleh pembangkit sehingga kebutuhan listrik pelanggan tidak terpenuhi, maka diperlukan lebih banyak penelitian tentang sumber energi terbarukan yang mampu memenuhi kebutuhan dan ramah lingkungan. Indonesia memiliki potensi sumber energi alternatif dan terbarukan

dalam jumlah yang besar. Beberapa diantaranya seperti tenaga panas bumi, mikrohidro, tenaga gelombang laut, tenaga surya, tenaga angin, bahkan sampah/limbah pun bisa digunakan untuk membangkitkan listrik. Oleh karena itu kita harus memanfaatkan potensi alam yang dimiliki Indonesia.

Indonesia merupakan negara kelautan terbesar didunia. Luas laut Indonesia mencapai 5,8 juta km², atau hampir 70% dari luas keseluruhan negara Indonesia [1]. Salah satu pembangkit yang ada dilaut adalah pembangkit listrik tenaga gelombang laut. Hal ini sangat memungkinkan karena energi gelombang air laut adalah sumber yang tak terbatas, dan konstruksinya tidak memerlukan biaya yang tinggi. Akan tetapi, pemanfaatan potensi gelombang laut secara optimum masih kurang, terutama dalam membangkitkan tenaga listrik. Salah satu alat untuk mengubah energi gelombang laut menjadi energi listrik adalah generator linier.

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan Rancang Bangun Generator Linier Konversi Energi Gelombang Air Laut.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penulisan skripsi ini adalah

1. Bagaimana merancang generator linier yang mengkonversi energi gelombang air laut menjadi energi listrik ?
2. Bagaimanakah kinerja generator linier tenaga gelombang laut ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah

1. Merancang generator linier yang mengkonversi energi gelombang air laut

menjadi energi listrik.

2. Mengetahui kinerja generator linier tenaga gelombang laut.

1.4 Batasan Masalah

Berikut ini permasalahan yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah

1. Pembahasan mengenai generator linier tenaga gelombang laut.
2. Pembahasan mengenai unjuk kerja generator linier tenaga gelombang laut dalam hal ini menyalakan lampu LED.
3. Pembahasan mengenai prinsip kerja generator linier.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

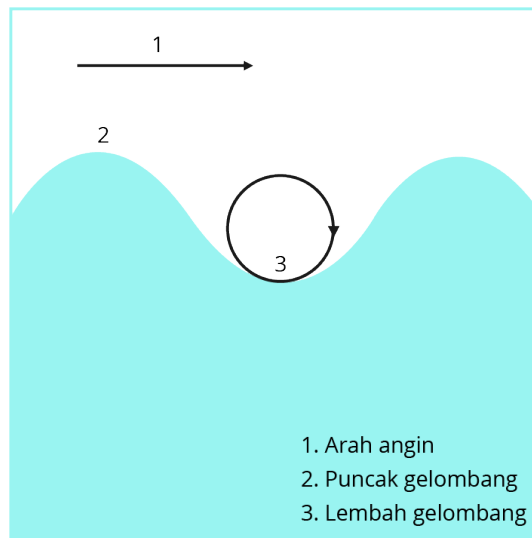
1. Diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat menjadi sumber referensi dalam perancangan generator linier.
2. Memberi sumbangsi dalam hal penyediaan listrik dengan pembangkitan bertenaga gelombang laut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gelombang Laut

Gelombang atau ombak merupakan pergerakan naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva/grafik sinusoidal. Angin di atas lautan memindahkan tenaganya ke permukaan perairan, menyebabkan riak-riak, alunan/bukit, dan berubah menjadi apa yang kita sebut sebagai gelombang atau ombak [2]. Proses terbentuknya gelombang laut dapat kita lihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Ilustrasi terbentuknya gelombang laut

Gelombang yang biasa terjadi di laut dapat terjadi karena beberapa jenis penyebabnya. Gelombang laut dapat disebabkan oleh angin (gelombang angin), daya tarik dari bumi-bulan-matahari (gelombang pasang surut), gempa di dasar laut (gelombang tsunami), maupun gelombang yang disebabkan oleh gerakan kapal [2].

Pada zaman sekarang, gelombang laut dapat dimanfaatkan sebagai salah satu energi alternatif yang bersifat dapat diperbaharui dalam memenuhi kebutuhan listrik manusia yang semakin meningkat. Energi gelombang laut sangat ramah lingkungan sehingga dapat dijadikan sumber energi dan banyak dikembangkan di seluruh dunia. Karena gelombang laut adalah pergerakan naik turunnya air dengan arah tegak lurus di permukaan air laut, maka gelombang laut memiliki potensi berupa gaya dorong [2].

2.2 Pemanfaatan Gelombang Laut Sebagai Energi Terbarukan

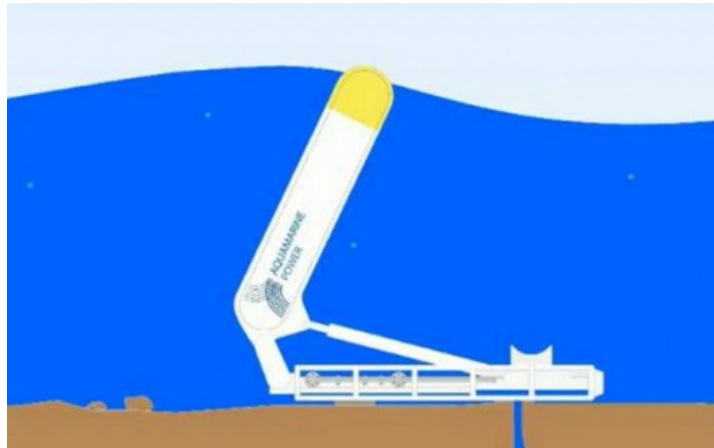
Ada 2 cara untuk memanfaatkan energi gelombang laut menjadi energi listrik, yaitu dengan sistem *off-shore* (lepas pantai) atau *on-shore* (pantai):

2.2.1 Sistem *off-shore* (Lepas Pantai)

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*).

Pada Gambar 2.2 naik-turunnya pipa pengapung 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 [3].



Gambar 2.2 Pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem off-shore [3]

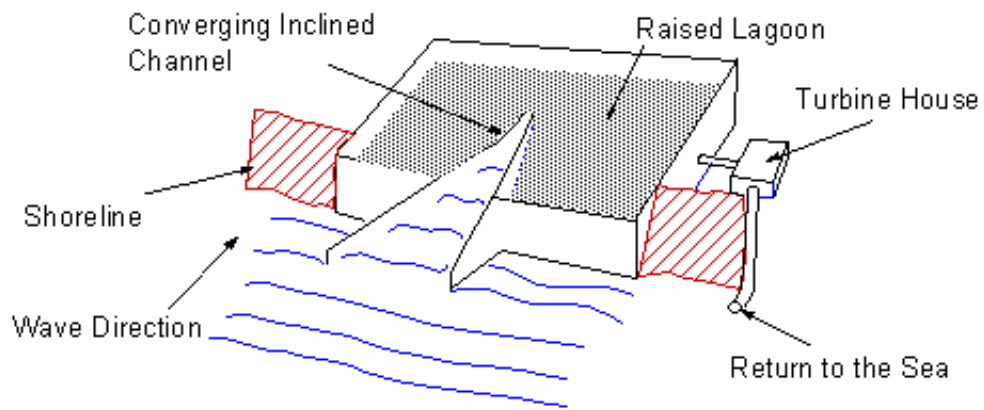
2.2.2 Sistem *on-shore* (Pantai)

Sedangkan 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 [3].

a. *Channel system*

Peralatan ini biasa juga disebut sebagai *tapered channel* atau kanal meruncing atau dapat juga disebut sistem *tapchan*. Pada Gambar 2.3 dapat dilihat skema dari sistem kanal, sistem ini dipasang pada sebuah struktur kanal yang dibangun di pantai untuk mengkonsentrasikan gelombang dan membawanya ke dalam kolam penampung yang ditinggikan. Air yang mengalir keluar dari kolam penampung ini yang akan digunakan untuk membangkitkan listrik dengan menggunakan teknologi

standar *hydropower* (prinsip dasar PLTA) dengan menyalurkan gelombang ke dalam reservoir atau kolam [2].



Gambar 2.3 Skema Sistem Kanal [2]

b. *Float system*

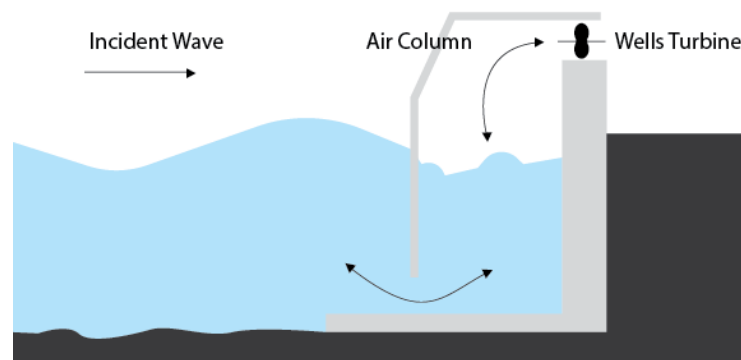
Sistem Pelampung adalah sistem yang akan membangkitkan listrik dari hasil gerakan vertical dan rotasional pelampung. Pada Gambar 2.4 alat ini dapat ditambahkan pada sebuah rakit yang mengambang atau alat yang tertambat di dasar laut yang dapat menggerakkan pompa hidrolik [2].



Gambar 2.4 Skema Sistem Pelampung [2]

c. *Oscillating water column system*

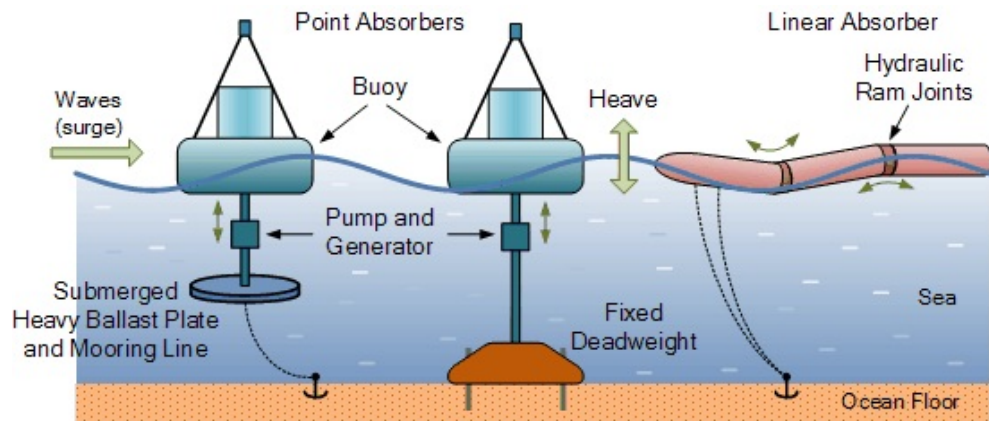
Dapat dilihat pada Gambar 2.5 secara keseluruhan dari sistem *oscillating water column*. Sistem ini membangkitkan listrik dari naik turunnya air laut akibat gelombang laut yang masuk kedalam sebuah kolom osilasi yang berlubang. Naik turunnya air laut ini akan mengakibatkan keluar masuknya udara di lubang bagian atas kolom dan tekanan yang dihasilkan dari naik turunnya air laut dalam kolom tersebut akan menggerakkan turbin [2].



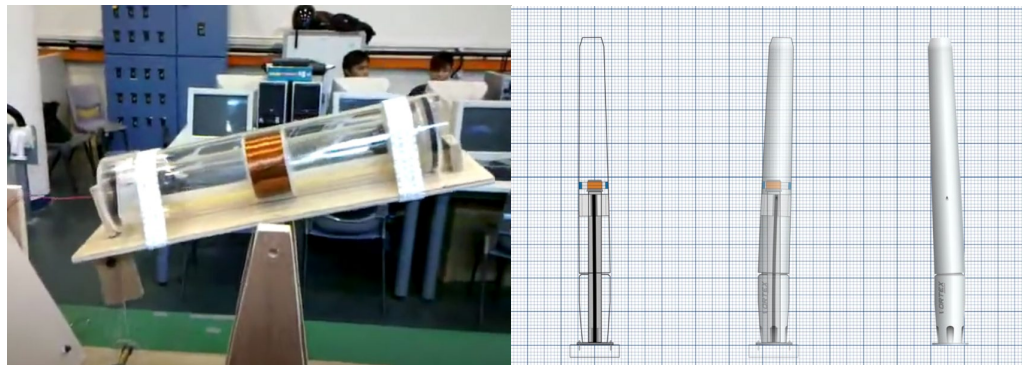
Gambar 2.5 Sistem *Oscillating Water Column* [2]

2.3 Pengaplikasian Generator Linier

Pengaplikasian generator linier dapat diterapkan pada setiap tempat yang terdapat gerakan linier. Seperti pada Gambar 2.6, pada ombak yang ada di pantai, tenaga arus bawah laut yang ada pada lepas pantai, bahkan gerakan linier yang ada pada kapal akibat dari ombak yang menggoyangkan kapal. Hingga baru-baru ini terdapat teknologi yang memanfaatkan energi generator linier untuk mengubah energi angin menjadi energi listrik.



(a)



(b)

(c)

Gambar 2.6 Pengaplikasian generator linier (a) pada sistem on-shore dan off-shore [4], (b) pada gerakan kapal, dan (c) pada pembangkit tenaga bayu

2.4 Generator

2.4.1 Generator Konvensional

Generator adalah mesin listrik dinamis yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik AC yang memiliki rangkaian medan yang di suplai oleh sumber DC [4].

Bagian-bagian dari generator adalah :

- a. Rotor, adalah bagian yang berputar atau bergerak yang mempunyai bagian terdiri dari poros, inti, kumparan, dan cincin geser [5].

- b. Stator, adalah bagian yang tidak bergerak yang mempunyai bagian terdiri dari body generator, belitan penguatan, dan sikat-sikat [5].

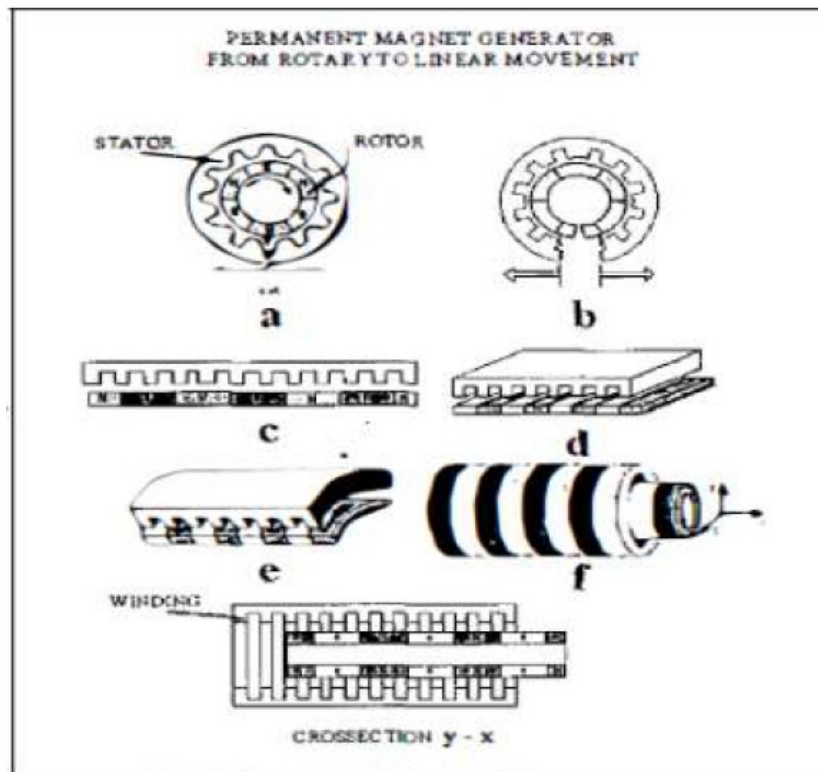
Hukum-hukum yang berlaku pada generator yang mendasari pembangkitan tenaga listrik adalah :

- a. Hukum Induksi Faraday, jika suatu kawat penghantar bergerak didalam medan magnet maka akan timbul Gaya Gerak Listrik (GGL) pada ujung-ujung kawat penghantar atau sebaliknya jika suatu kawat penghantar yang diam dan berada pada medan magnet yang berubah-ubah maka akan timbul GGL pada ujung-ujung kawat penghantar tersebut [5].
- b. Hukum Maxwell, Jika suatu kawat penghantar dialiri arus dan arah arusnya menjauhi pengamat maka arah medannya searah jarum jam. Sebaliknya, jika sebuah kawat penghantar dialiri arus dan arah arusnya mendekati pengamat maka arah medannya berlawanan dengan arah jarum jamnya [5].
- c. Hukum Lorentz, Suatu kawat penghantar yang dialiri arus listrik berada pada medan magnet akan timbul gaya [5].
- d. Hukum Lenz, Gaya gerak listrik sedemikian rupa yang menyebabkan arus mengalir pada loop tertutup, akan menyebabkan sesuatu yang melawan penyebabnya [5].

2.4.2 Generator Linier

Generator linier sekarang jarang digunakan. Saat ingin mengonversi dari energi mekanik menjadi energi listrik, kebanyakan pasti akan menggunakan gerakan berputar. Pada prinsipnya, generator linier memiliki konsep yang berasal

dari generator yang berputar, seperti pada Gambar 2.7 tentang generator listrik linier terbentuk dari generator radial. Ketika stator generator berputar dipotong dan dibuka (Gambar 2.7 a dan 2.7 b), akan diperoleh topologi sisi datar untuk stator generator linier. Proses yang sama juga berlaku pada rotor dan sebagai hasilnya, konfigurasi magnet baru tercapai (Gambar 2.7 c dan 2.7 d). Struktur stator datar dan magnetnya kemudian dikonversi ke bentuk silinder (Gambar 2.7 e dan 2.7 f). Koil digulung dan dimasukkan kedalam slot stator, dan didapatkan sebuah konsep untuk generator linier [6].

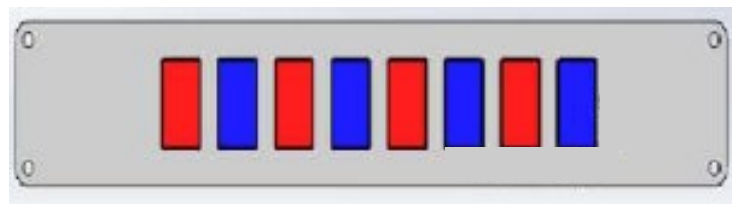


Gambar 2.7 Perubahan generator berputar menjadi generator Linier [6]

Generator umumnya terdiri dari bagian yang berputar disebut rotor dan bagian yang diam disebut stator. Diantara rotor dan stator disebut celah udara. Pada generator linier bagian yang bergerak disebut translator, magnet permanen

terpasang pada translator, kemudian pada stator terdapat koil atau lilitan [6].

Untuk stator pada generator linier sama dengan generator pada umumnya. Jumlah koil sangat berpengaruh pada tegangan yang dibangkitkan. Rotor pada generator linier terbuat dari besi atau plat metal sebagai tempat dudukan magnet permanen pada permukaannya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 [6].

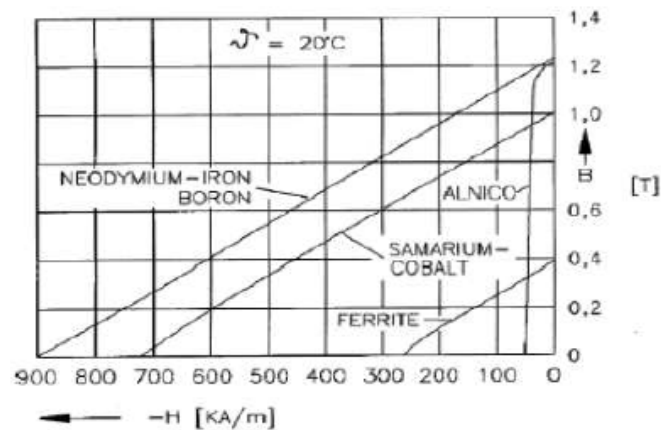


Gambar 2.8 Translator atau rotor pada generator linier [6]

Magnet permanen dapat menghasilkan fluks magnetic dalam celah udara tanpa disipasi daya listrik. Ada tiga kelas jenis magnet permanen saat ini yang dapat digunakan untuk motor atau generator listrik yaitu [6]:

- a. Alnico (Al, Ni, Co, Fe)
- b. Keramik (ferrites), seperti barium ferrite ($\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$) dan strontium ferrite ($\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$)
- c. Bahan langka bumi, seperti samarium-cobalt (SmCo) dan Neodymium-Besi-Boron (NdFeB)

Dari ketiga jenis magnet diatas, jenis Neodymium lebih banyak dipakai karena jenis magnet ini sangat kuat. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 perbedaan demagnetisasi dari tiga jenis bahan magnet permanen [6].



Gambar 2.9 Kurva demagnetisasi magnet permanen [6]

2.4.3 Generator Linier magnet permanen

Cara kerja generator ini menggunakan prinsip percobaan faraday, yaitu menggerakkan magnet dalam kumparan atau sebaliknya, ketika magnet digerakkan dalam kumparan maka terjadi perubahan fluks gaya magnet didalam kumparan dan menembus tegak lurus terhadap kumparan sehingga menyebabkan beda potensial antara ujung-ujung kumparan [7].

Tegangan induksi generator dapat dihitung dengan persamaan berikut [7]:

$$E_{rms} = 4,44 \times N \times f \times \Phi_{max} \times \frac{N_s}{N_{ph}} \quad (2.1)$$

dimana:

E_{rms} = Tegangan efektif induksi generator (V)

N = Jumlah lilitan

f = Frekuensi (Hz)

Φ_{max} = Fluks maksimum (Wb)

N_s = Jumlah kumparan

N_{ph} = Jumlah fasa

Frekuensi ditentukan dengan persamaan berikut [7] :

$$f = \frac{N_r \times P}{120} \quad (2.2)$$

dimana:

f = Frekuensi (Hz)

N_r = Kecepatan rotor (rpm)

P = Jumlah kutub

Magnet permanen digunakan untuk menghasilkan fluks magnet. Fluks maksimum magnet (Φ_{max}) dapat ditentukan dengan persamaan [7] :

$$\Phi_{max} = A_{magn} \times B_{max} \quad (2.3)$$

dengan :

$$A_{magn} = \frac{\pi(ro^2 - ri^2) - \tau f(ro - ri)Nm}{Nm} \quad (2.4)$$

dan

$$B_{max} = Br \times \frac{lm}{lm + \delta} \quad (2.5)$$

dimana :

A_{magn} = Luasan medan magnet (m^2)

B_{max} = Kerapatan fluks magnet maksimum (T)

r_o = Radius luar magnet (m)

r_i = Radius dalam magnet (m)

Nm = Jumlah magnet

τ_f = Jarak antar magnet (m)

Br = Kerapatan fluks magnet (T)

lm = Tinggi magnet (cm)

δ = Lebar celah udara (cm)