BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2. 1 Pembangkit Energi Listrik

Sistem pembangkit energi listrik berfungsi membangkitkan energi listrik dengan mempergunakan berbagai macam jenis pembangkit tenaga listrik. Pembangkit tenaga listrik berasal dari sumber-sumber energi alam diubah oleh penggerak mula menjadi energi mekanis yang berupa kecepatan dan putaran. Energi yang dihasilkan pada pembangkit tenaga listrik berupa bahan bakar yang berasal dari fosil (batubara, minyak bumi, dan gas), bahan galian (uranium dan thorium), tenaga air, tenaga matahari, tenaga angin, dan sebagainya [7].

2. 2 Pembangkit Energi Listrik Tenaga Gelombang (PLTG)

Pembangkit listrik tenaga gelombang (PLTG) menggunakan energi mekanik gelombang air untuk menghasilkan energi listrik. Prosesnya terdiri dari penangkapan energi gelombang, transformasi energi mekanik menjadi energi gerak yang terarah, dan, akhirnya, transformasi energi mekanik menjadi energi listrik melalui generator. Pembangkit listrik tenaga gelombang prototipe dibuat untuk penelitian skala laboratorium untuk mempelajari prinsip kerja dasar dan mengevaluasi kinerja sistem konversi energi sebelum diterapkan pada skala yang lebih besar [8].



Gambar 2. 1 Skema Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang [11]

2. 3 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang

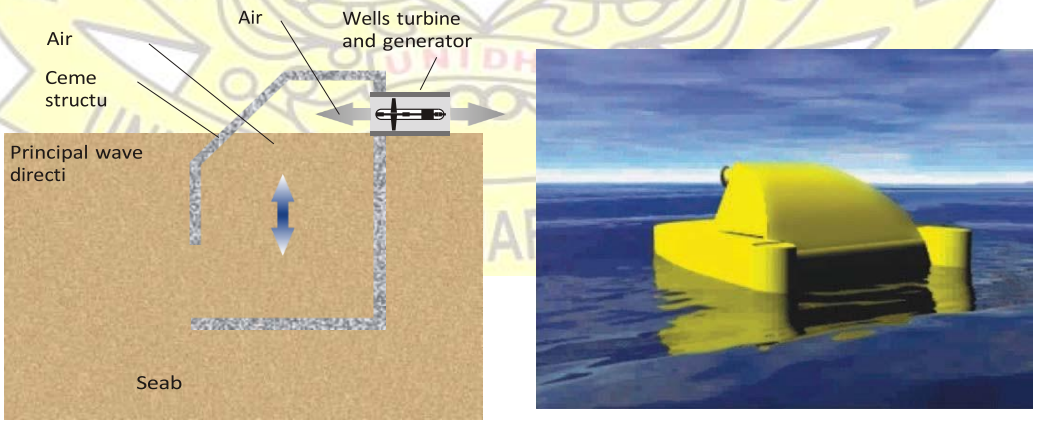
Pembangkit listrik tenaga gelombang menggunakan energi mekanik dari gerakan osilasi gelombang air. Suatu bagian mekanis, seperti pelampung, tuas, atau sistem engkol, digerakkan oleh gerakan gelombang yang naik dan turun permukaan air. Gerakan mekanis ini kemudian diteruskan ke sistem transmisi, yang menghasilkan putaran atau gerakan linier yang dapat dimanfaatkan.

Generator digunakan untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Prinsip induksi elektromagnetik mengarah pada generator di mana gerakan relatif antara medan magnet dan kumparan menghasilkan tegangan listrik. Kesesuaian antara karakteristik gelombang, mekanisme konversi mekanik, dan spesifikasi generator yang digunakan sangat memengaruhi efisiensi proses konversi ini. Oleh karena itu, memahami prinsip kerja pembangkit listrik tenaga gelombang sangat penting saat merancang prototype pembangkit listrik tenaga gelombang [9].

2. 4 Jenis-jenis Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang

1. Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang *Oscillatting Water Column* (PLTG-OSW)

PLTGL-OWC adalah salah satu alternatif teknologi yang diciptakan menggunakan metode isolasi untuk mengubah energi gelombang air laut menjadi energi Listrik [10]. PLTG-OWC sebagai pembangkit listrik tenaga gelombang air laut yang memiliki komponen turbin dan ruang udara. Ruang udara ini terendam sebagian di bawah permukaan laut, dan pada bagian bawahnya terbuka agar dapat bergerak naik turun. Pada saat ruang udara bergerak naik dan turun akan mendorong udara yang terdapat di dalam ruang tersebut melintasi turbin. Karena gelombang laut memiliki sifat selalu berosilasi, maka udara akan didorong atau ditarik melalui turbin. Pasang surut air laut sangat berpengaruhi terhadap PLTG-OWC, sehingga jika air laut mengalami pasang surut PLTG-OWC tidak dapat beroperasi secara optimal [11].



(*a) FixedOWC.* (*b) OSPREY.*

Gambar 2. 2 *Oscillatting Water Column Schemes* [11]

2. Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang *Archimedes Wave Swing* (PLTG-AWS)

PLTG-AWS adalah pembangkit listrik yang menggunakan gelombang laut serta piston berisi udara. Piston tersebut akan mengapung di permukaan dan berkontraksi akibat adanya tekanan gelombang laut. Kemudian terdapat bagian yang dipasang di dasar laut dan terhubung dengan generator untuk mengubahnya menjadi energi listrik. Permukaan dasar laut yang datar menjadi komponen penting dalam pembangunan PLTG-AWS. Hal tersebut memerlukan rancangan yang matang serta dana yang besar [11].



(a) Concept. (b*) Cross section.*

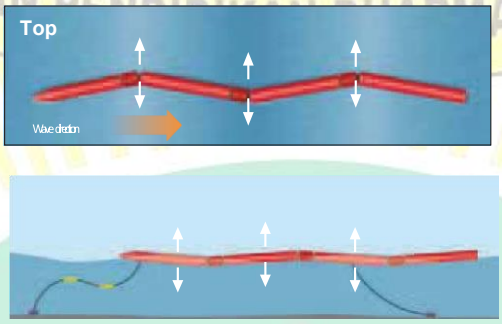
Gambar 2. 3 *Archimedes Wave Swing concept and cross section* [11]

3. Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Pelamis

PLTG Pelamis ialah pembangkit listrik tenaga gelombang laut yang memiliki komponen berupa silinder yang digabungkan dengan sambungan khusus. Sambungan khusus ini terdiri dari penggerak hidrolik yang berfungsi sebagai pemompa. Dengan gerakan yang tercipta ini akan menggerakan generator listrik dan kemudian akan menghasilkan daya. Dalam PLTG-Pelamis diperlukan gelombang laut yang sangat besar agar dapat menggerakan hidrolik untuk menghasilkan tenaga [12].



Gambar 2. 4 Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Pelamis [11]

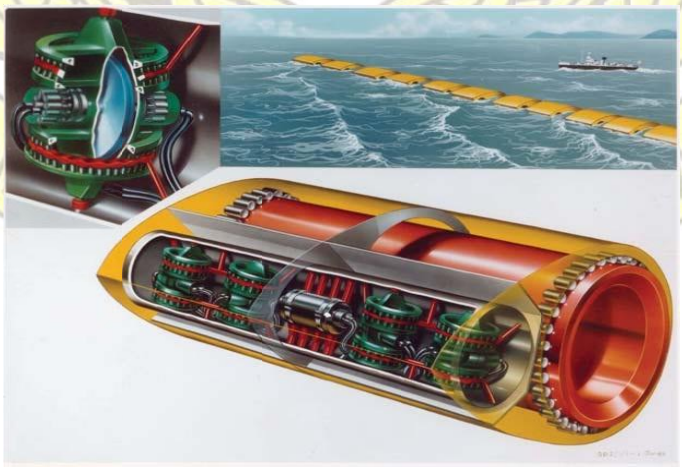


Gambar 2. 5 Prinsip Kerja Pelamis [11]

4. Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang *Duck*

Jenis PLTG yang terakhir ini merupakan pembangkit listrik tenaga gelombang laut yang bergerak mengambang, tenggelam, asimetris, tertambat, dan naik turun. Salah satu contoh PLTGL-*Duck* ialah menggunakan prinsip *gyroscope*. Prinsip *gyroscope* ini akan mengubah gerakan goyang menjadi tenaga listrik [11].

Gambar 2. 6 *An artist impression of the Duck using gyros to extract*



energy (source: ETSU/University of Edinburgh) [11]

2. 5 Komponen Prototype Pembangkit Listrik Tenaga gelombang

1. Pelampung

Pelampung merupakan komponen utama pada sistem pembangkit listrik tenaga gelombang yang berfungsi menangkap energi mekanik dari pergerakan gelombang laut. Ketika gelombang bergerak naik dan turun, pelampung akan ikut berosilasi sehingga menghasilkan gerakan mekanik. Gerakan tersebut kemudian diteruskan ke sistem transmisi untuk menggerakkan generator. Dalam sistem *Wave Energy Converter (WEC)* tipe *point absorber*, pelampung merupakan elemen yang secara langsung berinteraksi dengan permukaan air dan mengubah energi kinetik gelombang menjadi energi mekanik yang dapat dimanfaatkan. Desain dan ukuran pelampung sangat mempengaruhi jumlah energi yang dapat ditangkap dari gelombang laut [13].

2. Sistem Transmisi Mekanik

Sistem transmisi mekanik berfungsi untuk menyalurkan dan mengubah gerakan osilasi dari pelampung menjadi gerakan mekanik yang lebih terarah untuk memutar generator. Transmisi ini dapat berupa mekanisme roda gigi, rantai, poros, atau mekanisme *motion rectifier* yang mengubah gerakan naik turun menjadi putaran searah. Dengan adanya sistem transmisi, energi mekanik dari gelombang dapat dimanfaatkan secara lebih efisien sehingga generator dapat berputar secara stabil. Sistem ini merupakan bagian penting dalam proses konversi energi dari gerakan gelombang menjadi energi Listrik [14].

3. Generator Linear

Generator linear adalah perangkat yang mengubah energi mekanik dari gerakan pelampung secara langsung menjadi energi listrik tanpa memerlukan mekanisme rotasi seperti generator konvensional. Pada sistem ini, gerakan naik turun dari pelampung menyebabkan magnet permanen bergerak relatif terhadap kumparan sehingga menghasilkan induksi elektromagnetik. Generator linear sering digunakan pada sistem pembangkit listrik tenaga gelombang karena mampu memanfaatkan gerakan vertikal gelombang secara langsung dengan efisiensi yang cukup baik. Penggunaan generator jenis ini juga dapat mengurangi kerugian energi akibat konversi mekanik tambahan [15].

4. Penyearah (Dioda Bridge)

Penyearah atau *bridge rectifier* merupakan rangkaian elektronik yang berfungsi mengubah arus bolak-balik (AC) yang dihasilkan oleh generator menjadi arus searah (DC). Proses penyearahan ini diperlukan karena sebagian besar perangkat penyimpanan energi seperti baterai hanya dapat menyimpan energi listrik dalam bentuk arus searah. Rangkaian penyearah biasanya terdiri dari empat buah dioda yang disusun dalam konfigurasi jembatan sehingga dapat menyearahkan arus AC dari generator menjadi DC secara penuh. Penggunaan penyearah juga membantu menstabilkan aliran energi sebelum masuk ke sistem penyimpanan atau beban Listrik [16].

5. Modul Step-Down (DC-DC Converter)

Modul step-down atau *DC-DC buck converter* digunakan untuk menurunkan tegangan listrik DC yang dihasilkan dari proses penyearahan agar sesuai dengan kebutuhan beban atau sistem penyimpanan energi. Tegangan yang dihasilkan oleh generator gelombang seringkali tidak stabil karena bergantung pada kondisi gelombang laut. Oleh karena itu, penggunaan modul step-down diperlukan untuk mengatur dan menstabilkan tegangan agar dapat digunakan secara aman oleh perangkat elektronik atau baterai. Sistem konverter daya ini juga berfungsi meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi yang dihasilkan oleh sistem pembangkit listrik tenaga gelombang [16].

6. Baterai / Beban

Baterai berfungsi sebagai media penyimpanan energi listrik yang dihasilkan oleh sistem pembangkit listrik tenaga gelombang. Energi listrik yang dihasilkan generator akan disimpan terlebih dahulu dalam baterai sebelum digunakan oleh beban listrik. Hal ini penting karena energi gelombang bersifat tidak stabil dan bergantung pada kondisi laut. Dengan adanya baterai, energi listrik dapat disimpan dan digunakan kapan saja sesuai kebutuhan. Selain itu, baterai juga dapat berfungsi sebagai sumber daya cadangan ketika sistem pembangkit tidak menghasilkan energi [17].

7. Rangka Prototype

Rangka prototype merupakan struktur mekanik yang digunakan untuk menopang dan menyusun seluruh komponen sistem pembangkit listrik tenaga gelombang. Rangka ini berfungsi menjaga kestabilan posisi komponen seperti

pelampung, transmisi, generator, dan rangkaian elektronik agar dapat bekerja dengan baik selama proses pengujian. Pada penelitian skala laboratorium, rangka biasanya dibuat dari bahan logam atau akrilik yang cukup kuat namun mudah dirakit. Desain rangka yang baik akan memastikan sistem bekerja stabil serta memudahkan proses pengujian dan pengamatan kinerja alat [14].

2. 6 Generator Linear Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang

2.6.1 Pengertian Generator Linear

Generator linear merupakan jenis generator listrik yang mengubah energi mekanik berupa gerakan translasi atau gerakan lurus menjadi energi listrik melalui prinsip induksi elektromagnetik. Berbeda dengan generator konvensional yang menggunakan gerakan rotasi, generator linear memanfaatkan gerakan bolak-balik dari suatu komponen mekanik seperti pelampung yang digerakkan oleh gelombang laut. Pada sistem pembangkit listrik tenaga gelombang, generator linear sering digunakan karena mampu mengubah gerakan naik turun gelombang secara langsung menjadi energi listrik tanpa memerlukan mekanisme konversi tambahan seperti roda gigi atau engkol. Hal ini membuat sistem menjadi lebih sederhana serta dapat mengurangi kerugian energi akibat proses konversi mekanik [18].

2.6.2 Perbedaan Generator Rotasi dan Generator Linear

Generator rotasi merupakan generator listrik yang menghasilkan energi listrik melalui perputaran rotor di dalam medan magnet stator. Jenis generator ini banyak digunakan pada pembangkit listrik konvensional seperti turbin air, turbin angin, maupun turbin uap. Sementara itu, generator linear bekerja berdasarkan gerakan translasi atau gerakan lurus antara magnet dan kumparan sehingga tidak memerlukan sistem konversi gerakan rotasi. Pada sistem pembangkit listrik tenaga gelombang, generator linear memiliki keunggulan karena dapat dihubungkan langsung dengan gerakan naik turun pelampung akibat gelombang laut. Selain itu, generator linear memiliki konstruksi yang lebih sederhana dan lebih sedikit komponen mekanik dibandingkan generator rotasi, sehingga dapat mengurangi kehilangan energi serta biaya perawatan pada sistem konversi energi gelombang laut [19].

2.6.3 Komponen Generator Linear

Generator linear terdiri dari beberapa komponen utama yang bekerja bersama untuk menghasilkan energi listrik melalui proses induksi elektromagnetik. Komponen utama tersebut antara lain stator, rotor atau magnet permanen, serta kumparan penghantar. Interaksi antara medan magnet dan konduktor yang bergerak akan menghasilkan gaya gerak listrik sehingga menghasilkan arus listrik. Desain dan konfigurasi komponen generator linear sangat mempengaruhi efisiensi sistem konversi energi, terutama pada aplikasi pembangkit listrik tenaga gelombang yang memiliki gerakan mekanik tidak stabil dan frekuensi rendah [5].

2.6.4 Stator / Kumparan Coil

Stator merupakan bagian dari generator linear yang bersifat diam dan berfungsi sebagai tempat kumparan penghantar dipasang. Pada generator linear, stator biasanya terdiri dari inti besi dan kumparan tembaga yang disusun sedemikian rupa untuk menghasilkan medan magnet induksi ketika terjadi gerakan relatif dengan magnet permanen. Ketika magnet pada rotor bergerak melintasi kumparan stator, perubahan fluks magnet akan menghasilkan tegangan listrik pada kumparan tersebut. Oleh karena itu, desain stator yang baik sangat penting untuk meningkatkan efisiensi konversi energi serta memaksimalkan tegangan listrik yang dihasilkan [20].

2.6.5 Rotor / Magnet Permanen

Rotor pada generator linear biasanya berupa magnet permanen yang bergerak secara bolak-balik mengikuti gerakan mekanik dari sistem pembangkit listrik tenaga gelombang. Magnet permanen ini menghasilkan medan magnet tetap yang akan berinteraksi dengan kumparan stator. Ketika magnet bergerak relatif terhadap kumparan, fluks magnet pada kumparan akan berubah sehingga menghasilkan gaya gerak listrik sesuai dengan prinsip induksi elektromagnetik. Penggunaan magnet permanen dalam generator linear sangat umum karena dapat meningkatkan efisiensi sistem serta mengurangi kebutuhan sumber energi eksternal untuk menghasilkan medan magnet [21].

2.6.6 Prinsip Kerja Generator Linear pada Gelombang Laut

Pada pembangkit listrik tenaga gelombang laut, generator linear bekerja dengan memanfaatkan gerakan naik turun pelampung yang diakibatkan oleh

gelombang laut. Gerakan ini menyebabkan magnet permanen pada rotor bergerak secara bolak-balik relatif terhadap kumparan stator. Pergerakan tersebut mengakibatkan perubahan fluks magnet pada kumparan sehingga menghasilkan tegangan listrik berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Energi mekanik dari gelombang laut kemudian dikonversi secara langsung menjadi energi listrik tanpa memerlukan sistem transmisi mekanik tambahan. Metode ini banyak digunakan pada sistem *direct drive wave energy converter* karena mampu meningkatkan efisiensi konversi energi serta mengurangi kompleksitas mekanisme mekanik [5].

YAYASAN PENDIDIKAN DHARMA ANDALAS
UNTUK KECERDASAN BANGSA
UNIDHA
UNIVERSITAS DHARMA ANDALAS