

KINERJA PROTOTIPE PAPAN OSILASI PADA POMPA FLAP TENAGA GELOMBANG UNTUK PEMANFAATAN MATA AIR DI PANTAI BANYU ASRI, KOTA SINGARAJA - BALI

PERFORMANCE OF PROTOTYPE OSILATION BOARD WAVE ENERGY FLAP PUMP FOR WATER SPRINGS UTILIZATION AT BANYUASRI BEACH, SINGARAJA-BALI

Juventus Welly Ginting¹⁾ I Ketut Dharma Setiawan¹⁾

¹⁾ Balai Litbang Pantai, Buleleng, Bali

Email: juventus.ginting@gmail.com

ABSTRAK

Penyediaan air baku pada umumnya diperoleh yaitu dari sungai, danau, sumur air dalam, dan mata air. Pengambilannya dapat dilakukan dengan cara pengeboran, pembendungan air, dan pemompaan. Pengelolaan potensi air baku di suatu daerah ditentukan oleh keadaan geografis dan geologis. Salah satu kemunculan mata air yang terdapat di daerah pantai dipengaruhi parameter kelautan dan geologi yang selanjutnya akan mempengaruhi metode penangkapan, pengelolaan, hingga pemanfaatannya. Prototipe penyediaan air baku ini telah dipasang di lokasi sekitar mata air di Pantai Banyu Asri, Kota Singaraja, Kabupaten Buleleng, Provinsi Bali tahun 2013. Metodologi pengumpulan data dilakukan dengan melakukan pengamatan terhadap data gelombang, debit pemompaan dan salinitas air. Pengamatan tersebut dilakukan untuk dua tipe papan osilasi yaitu dengan menggunakan kayu dan berbahan fiber. Dari teknologi ini diharapkan pasokan sumber mata air yang stabil dan kandungan mineral yang terjaga walaupun posisi mata air sangat dipengaruhi oleh pasang air laut yang seringkali menggenangi titik keluarnya mata air. Mata air di Pantai Banyu Asri ini sudah banyak dimanfaatkan masyarakat untuk keperluan air minum dan ritual peribadatan. Dari hasil kinerja prototipe setelah dipasang di lokasi mata air telah menunjukkan kemampuan untuk mengalirkan air tawar melalui pipa ke arah darat, walaupun tinggi gelombang yang terjadi di lokasi sangat kecil berkisar antara 0,10 – 0,30 cm dan aliran debit hingga 0,03 L/sec.

Kata Kunci: mata air pantai, pompa flap, Pantai Banyu Asri,

ABSTRACT

The supply of raw water is generally water available from several sources, which are available only on a river, lake, water wells and springs. The extraction can be done by drilling, damming water, and pumping. Management of the potential of raw water in an area is determined by geographical and geological conditions. One of the occurrences of springs found in coastal areas is influenced by marine and geological parameters which will further affect the method of capture, management, and utilization. This prototype of raw water supply has been installed in a location around the spring at Banyu Asri Beach, Singaraja City, Buleleng Regency, Bali Province in 2013. Data collection methodology is carried out by observing the wave data, pumping discharge and water salinity. These observations were made for two types of oscillation boards, namely using wood and fiber. From this technology, it is expected that the supply of a stable source of springs and the mineral content that is maintained even though the position of the spring is strongly influenced by the tide of the sea water which often inundates the discharge point of the spring. The spring at Banyu Asri Beach has been widely used by the community for drinking water and ritual worship. From the results of the performance of the prototype after being installed at the location of the spring, it has shown the ability to drain fresh water through pipelines towards the land, although the wave height that occurs in very small locations ranges from 0.10 to 0.30 cm and the discharge flow is up to 0.03 L / sec.

Keywords: beach springs, flap pump, Banyu Asri Beach

PENDAHULUAN

Lebih dari 80% permintaan energi dunia masih dipasok oleh bahan bakar fosil (Nehring,R, 2009). Banyak hasil penelitian memprediksi bahwa pada masa depan penggunaan energi terbarukan merupakan salah satu sumber energi alternatif yang menjanjikan, karena tidak ada batas dalam hal jumlah energi terbarukan (Vining JG, 2009). Ada banyak sumber energi terbarukan yang sudah dikembangkan saat ini seperti angin, matahari, gelombang, dan pasang surut (Bull.SR, 2001). Dari semua sumber energi terbarukan yang ada di laut energi gelombang memiliki kerapatan energi tertinggi, faktor penggunaan peralatan dengan teknologi yang cukup tinggi dan investasi yang besar. Potensi pemanfaatan energi gelombang sangat besar mengingat 70% dari permukaan bumi adalah lautan. Dari kapasitas sumber daya energi gelombang yang dapat dimanfaatkan totalnya sebanding dengan konsumsi daya total dunia. sehingga saat ini energi gelombang merupakan sumber energi yang cukup menjanjikan dan juga sudah banyak investor yang mulai tertarik pada energi gelombang (Emre Ozkop, 2012).

Energi gelombang memiliki potensi sekitar 8000 - 80.000 TWh / tahun atau 1-10 TW di seluruh dunia dan juga energi yang tersedia per meter persegi gelombang 15-20 kali lebih banyak daripada angin dan matahari. Sekitar 1-5% dari kebutuhan listrik dunia dapat disediakan oleh energi gelombang. Potensi energi gelombang yang dapat diekstrak dapat memberikan kontribusi yang besar terhadap kebutuhan listrik dunia. Diklaim bahwa biaya untuk memanfaatkan energi gelombang 4-6 kali lebih banyak dari sumber tenaga konvensional. Namun, biaya energi gelombang bisa bersaing dengan energi konvensional jika digunakan sebagai unit energi dasar (Emre Ozkop, 2012).

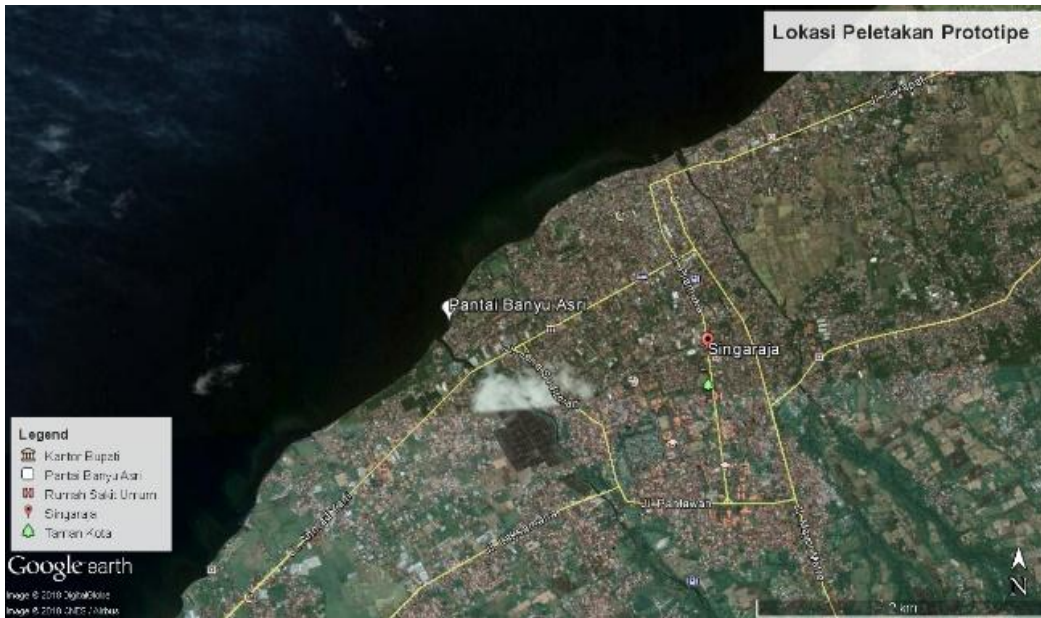
Indonesia memiliki total hampir 64.97% dari total luas wilayah Indonesia berupa perairan laut, selat, dan samudra. Indonesia memiliki potensi sektor maritim yang sangat besar. Pemanfaatan energi gelombang tidak hanya dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Energi gelombang dapat diubah menjadi energi mekanik untuk menggerakkan pompa gelombang, pompa gelombang ini dapat digunakan untuk memindahkan air laut ke tempat yang lebih tinggi. Kemudian Air laut dapat digunakan untuk memutar turbin karena energi potensial yang tersimpan didalamnya. Pemanfaatan ini dapat

digunakan untuk keperluan lain, seperti industri tambak garam, air laut yang digunakan sebagai tambak ikan, atau penggunaan lainnya.

Pompa tenaga gelombang adalah salah satu cara pemanfaatan energi gelombang laut untuk memompakan air laut ke suatu tempat yang lebih tinggi. Dengan cara ini diharapkan biaya operasional dan perawatan lebih kecil jika dibandingkan dengan menggunakan pompa air listrik atau tenaga diesel, karena setelah pompa air terpasang air akan mengalir dengan sendirinya atau air berlebih dapat dibuang dengan mudah dan biaya perawatan pada *valve* pompa dan piston relatif lebih murah (Pongmanda, Triatmadja, & Nizam, 2003).

Pengambilan mata air telah dilakukan dengan berbagai metode. Pada mata air yang memiliki aliran horisontal mengikuti gaya gravitasi umumnya menggunakan bak penampungan atau penurapan dari bahan tembok atau beton, pada kondisi pengambilan vertikal digunakan teknik pemompaan dengan menggunakan daya listrik, diesel atau bensin, dengan tipe pompa yang didarat maupun tenggelam/*submersible* dan penggerak manual seperti pompa air *dragon*. Kedua metode tersebut (turap dan pompa) dapat saling melengkapi, sebagai contoh yaitu hasil tampungan mata air pada turap memerlukan pompa untuk distribusi hingga sampai pada pengguna air baku terutama untuk lokasi yang memiliki elevasi lebih tinggi atau jauh dari mata air. (Pantai, 2012). Kondisi khusus berupa munculnya mata air di perairan pantai yang selalu tergenang dan bergelombang menimbulkan kendala terutama untuk pengambilannya sehingga perlu dilakukan upaya mengamankan, melindungi, dan mengalirkan sumber air baku tersebut dengan suatu pengembangan teknologi di daerah pantai Banyu Asri-Singaraja, Kabupaten Buleleng - Provinsi Bali.

Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan suatu *prototipe* pemusatan mata air mekanis yang mampu mengalirkan air pada kondisi tinggi gelombang (H) menengah maksimum 1,25 m, saat kondisi muka air tinggi (*HWL*), rata-rata (*MSL*) dan air rendah (*LWL*) dengan energi gelombang yang tersedia di lokasi mata air, memiliki kinerja yang stabil dan dapat dibuat dengan material yang banyak beredar di pasaran, perakitan dan pemasangannya dapat dilakukan metoda sederhana.



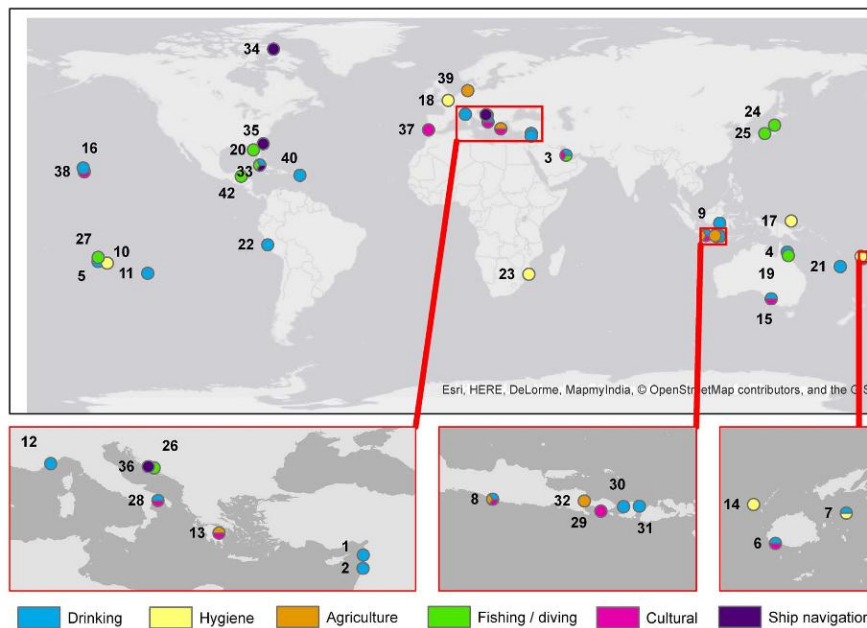
Sumber : google earth

Gambar 1. Lokasi prototipe

KAJIAN PUSTAKA

Sumber mata air air tawar di laut atau dalam istilah asing dikenal sebagai “*fresh submarine groundwater discharge*”, (fresh SGD). Merupakan fenomena yang banyak ditemukan di belahan dunia. sumber mata air ini diakui sebagai jalur nutrisi dan polutan dari darat ke lautan pesisir. Diberbagai tempat sumber mata air tawar di laut ini secara luas digunakan sebagai sumber daya air untuk minum, kebersihan, pertanian, perikanan, pariwisata, budaya, atau navigasi kapal (Moosdorf & Oehler, 2017).

Di Peru, sumber mata air ini digunakan untuk minum, di Tahiti untuk mandi, di Yunani untuk irigasi, di Bali digunakan untuk kegiatan keagamaan, dan ada juga bahaya dari sumber mata air ini di Kuba sumber mata air ini mempunyai debit yang besar sehingga berbahaya untuk kapal kecil. Sumber mata air mempunyai nilai yang kompleks untuk komunitas. Karena perubahan global seperti ekstraksi air tanah di permukaan dan kenaikan muka laut dapat mengakibatkan hilangnya sumber mata air ini di beberapa daerah (Moosdorf & Oehler, 2017).



Sumber : (Moosdorf & Oehler, 2017)

Gambar 2. Pemanfaatan mata air tawar di laut di beberapa negara

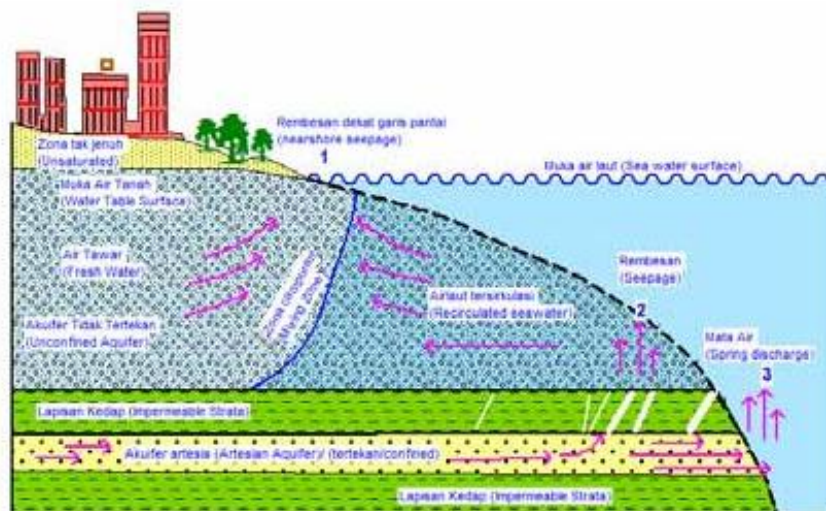
Gambar 2 diatas beberapa daerah di Indonesia yang memiliki potensi mata air tawar di laut berdasarkan penelitian (Moosdorf & Oehler, 2017). Adalah di Tanah lot Bali, labuhan Lombok, Krakas Lombok, Taman Nasional Baluran di Jawa Timur dan di Gunung kidul Jawa Tengah. Selain itu di daerah Bali selain di daerah Banyu Asri terdapat berapa sumber mata air tawar di sekitar Bali utara seperti Banyu Wedang dan air sanih yang letaknya di Kabupaten Buleleng Bali.

Untuk mengetahui Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam aliran mata air ini juga sudah dilakukan model konseptual oleh (Evans & Wilson, 2016). Variasi yang dilakukan adalah kemiringan pantai, ketinggian pasang surut, dispersivitas, debit air tawar, dan konduktivitas hidrolis. Dari hasil model tersebut diperoleh permukaan pantai yang curam memungkinkan lapisan atas yang lebih kuat terbentuk. Ukuran butir rata-rata sedimen dari pantai sangat berkorelasi dengan kemiringan dan permeabilitas pantai. Menurut (Robinson, Xin, Li, & Barry, 2014) selain faktor tersebut, ada faktor lain yang mempengaruhi pergerakan mata air tawar dari daratan ke daerah pantai antara lain dinamika aliran dan transportasi garam lebih responsif terhadap kejadian gelombang dengan durasi lebih lama dan intensitas lebih tinggi, terutama di akuifer yang lebih permeabel dengan debit mata air tawar yang lebih rendah. Selain itu ada faktor lain yang mempengaruhi jumlah debit air tawar ke pantai menurut (Abarca, Karam, Hemond, & Harvey, 2013) debit air tawar berkorelasi positif dengan ketinggian air surut, sedangkan debit air garam dari laut yang mencoba masuk ke air tawar berkorelasi negatif dengan ketinggian air surut. Jadi, ketika

ketinggian air surut relatif tinggi, debit air tawar lebih banyak dan debit air laut lebih sedikit yang masuk ke sumber mata air. Sebaliknya ketika air surut sangat rendah, debit air tawar lebih sedikit dan debit air garam lebih masuk ke dalam sumber mata air.

Munculnya mata air tawar di tengah laut merupakan suatu fenomena yang menarik yang secara alami, gejala munculnya mata air tawar di pesisir dan lepas pantai lazim terjadi. Sumber mata air yang muncul merupakan air tanah. Kita paham bahwa air tanah akan mengalir ke titik terendah di permukaan bumi, yaitu laut. Dalam perjalanannya, air yang berada di bawah tanah bergerak melalui aneka ragam batuan. Akibatnya, bentuk keluarannya pun beragam. Berdasarkan hasil pengamatan lapangan, bentuk kemunculan air tanah di pantai atau di laut ini terbagi menjadi tiga macam, yaitu rembesan air tanah di dekat pantai (*nearshore groundwater seepage*), rembesan air tanah (*groundwater seepage*), dan mata air tawar lepas pantai (*Submarine Freshwater springs*). (Lubis & Bakti, 2013)

Rembesan air tanah di dekat pantai biasa dijumpai di pinggir pantai. Salah satu bentuknya berupa mata air di tepi pantai. Hal ini terjadi karena aliran air tanah tidak cukup kuat menekan air laut. Umumnya ini terjadi pada air tanah bebas, yaitu air tanah yang memiliki tekanan sama dengan udara dan air laut yaitu sebesar satu atmosfer. Rembesan air tanah terjadi di lepas pantai atau melewati garis pasang surut maksimum. Rembesan ini sulit untuk dilihat secara kasat mata dan umumnya terjadi pada air tanah yang berada pada sistem media batuan yang berpori.



Sumber : Moosdorf & Oehler, 2017

Gambar 3. Ilustrasi pertemuan antara air tawar dan air laut

Mata air tawar lepas pantai terjadi di lepas pantai, dapat terlihat secara kasat mata. Mata air ini terbentuk ketika tekanan air tanah yang terjadi akibat proses alirannya cukup untuk mendorong air tawar ke permukaan. Semakin besar tekanan dan debitnya, maka akan semakin besar mata air ini dan zona interaksinya akan semakin terlihat. Bagaimana air tawar muncul di tengah air laut yang memiliki berat jenis yang lebih besar? Untuk menjelaskan fenomena tersebut, maka kita harus mengetahui terlebih dahulu bentuk pertemuan (interaksi) antara air tawar dan air laut.

Dalam konsep ilmu air tanah (hidrogeologi), agar aliran air tanah tawar dapat mendorong air laut, selain berat jenis, maka kunci lainnya adalah tekanan fluida. Tekanan air laut di daerah pesisir sama dengan tekanan udara, yaitu 1 atmosfer. Jadi jika ada aliran air tanah yang memiliki tekanan lebih besar dari tekanan air laut pada titik pertemuannya, maka kemunculan air tanah di tengah laut sangat mungkin akan terjadi. Penerapan prototipe pompa tenaga gelombang di pantai Banyu Asri di Kabupaten Buleleng banyak hal yang diperhatikan. Antara lain adalah mengenai panjang gelombang dimana panjang gelombang (L) berpengaruh terhadap pergerakan dari papan osilasi.

Teori Gelombang Amplitudo Kecil

Teori gelombang amplitudo kecil dapat diturunkan dari persamaan kontinuitas untuk aliran tak rotasi (Persamaan Laplace) yaitu $\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0$ (1)

Dari Persamaan 1, notasi-notasi selanjutnya yang akan dipergunakan dalam menurunkan persamaan. Penurunan dari persamaan dasar dengan kondisi batas menghasilkan persamaan panjang gelombang yang dinyatakan dengan (Triatmodjo, 1999):

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L} \quad \text{.....(2)}$$

dimana:

- L : Panjang gelombang
- g : percepatan gravitasi (9,81 m/s²)
- T : Periode gelombang
- h : Kedalaman perairan

Total energi di dalam gelombang merupakan gabungan antara energi kinetik dan energi potensial. Dimana energi potensial Energi potensial yang terjadi di gelombang air merupakan hasil dari pergerakan massa air dari titik ekuilibrium terhadap medan gravitasi. Bila muka air dalam kondisi diam dengan kondisi elevasi permukaan yang seragam, dapat ditunjukkan bahwa energi potensial minimum. Namun, perpindahan penumpukan partikel yang

mengakibatkan perpindahan permukaan bebas akan mengharuskan gaya bekerja dan mengakibatkan peningkatan energi potensial

$$(\overline{EP}) = (\overline{EP})_{waves} = \frac{\rho g H^2}{16} \quad \text{.....(3)}$$

dimana :

- EP : Energi Potensial
- ρ : Massa Jenis air laut
- H : Ketinggian gelombang

Energi kinetik disebabkan oleh partikel air yang bergerak; Total energi rata-rata per satuan luas permukaan gelombang adalah jumlah energi potensial dan kinetik. Menunjukkan E sebagai total energi rata-rata per satuan luas permukaan (Dean & Dalrymple, 1984)

$$\begin{aligned} E &= \overline{PE} + \overline{KE} \\ &= \frac{\rho g H^2}{16} + \frac{1}{16} \rho g H^2 \\ &= \frac{1}{8} \rho g H^2 \end{aligned} \quad \text{.....(4)}$$

dimana :

- E : Energi Total
- PE : Energi Potensial
- KE : Energi Kinetik
- ρ : Massa Jenis air laut
- H : Ketinggian gelombang

Pemanfaatan Energi Gelombang Laut

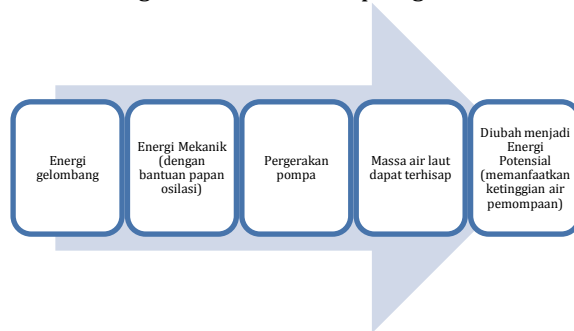
Pemanfaatan energi gelombang laut yang sudah dilakukan oleh (McCormick, 1981) sudah banyak dimanfaatkan dan dikembangkan oleh peneliti lain. Hampir mirip dengan ide dasar (McCormick, 1981), (Siliman, 2001) mendesain pompa air laut tenaga gelombang, dimana energi gelombang ditangkap melalui *flap* dan diteruskan oleh piston untuk mendorong air laut yang terdapat dalam tabung piston ke permukaan (Siliman, 2001). Dengan tujuan utamanya pada pemanfaatan energi gelombang untuk mensuplai air laut ke daratan untuk berbagai keperluan seperti untuk irigasi perikanan air asin atau payau dan pemanfaatannya untuk tambak udang.

Teknologi penangkap energi gelombang dengan sistem pompa tenaga gelombang pada prinsipnya merupakan transformasi energi gelombang menjadi energi pemompaan yang menghasilkan debit air dan tinggi pemompaan. Transformasi energi ini melalui proses osilasi (Department of the Interior, 2006). Pengambilan air baku dari mata air yang muncul di pantai dengan menggunakan teknologi penangkap energi gelombang berupa sistem pompa *flap* pada prinsipnya merupakan pemanfaatan energi gelombang menjadi tekanan yang digunakan untuk mengangkat masa air laut ke tempat yang lebih tinggi. Dari perbedaan ketinggian kemudian

dimanfaatkan energi potensial dari massa air laut yang tersimpan di suatu ketinggian yang dapat digunakan untuk menggerakkan turbin listrik atau langsung dimanfaatkan sebagai masa air. Proses transformasi energi ini dapat dijelaskan pada Gambar 5 sebagai berikut:

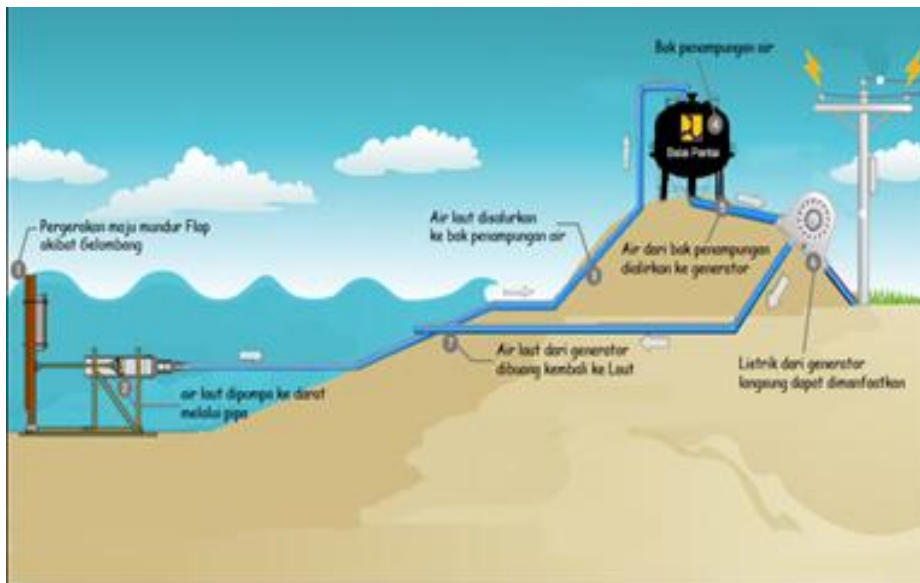
1. Energi gelombang dari laut ditangkap dengan menggunakan papan osilasi yang diletakkan vertikal, sehingga mengakibatkan pergerakan radial papan osilasi. Pergerakan papan osilasi didukung oleh adanya engsel di bagian dasar papan osilasi.
2. Gerakan radial papan osilasi menggerakkan lengan torak yang dipasang tegak lurus papan osilasi.
3. Gerakan linier horisontal lengan torak menggerakkan torak maju-mundur dalam tabung horisontal yang diletakkan di bawah permukaan air laut.
4. Dengan menggunakan sistem valve pada torak atau tabung, gerakan torak mengakibatkan masa air laut terdorong ketempat yang lebih tinggi sehingga masa air

tersebut dapat di manfaatkan kembali seperti sebagai pembangkit listrik atau sumber air laut bagi tambak ikan ataupun garam.



Gambar 4 Flowchat transformasi energi pada pompa tenaga gelombang

Papan osilasi didesain sedemikian rupa agar dapat berosilasi mengikuti gerakan gelombang dengan bebas maka papan harus dibuat dari bahan yang mengapung dan tahan terhadap air laut.



Sumber: Ginting & Samskerta, 2011

Gambar 5. Skema cara kerja model Pompa Gelombang Tenaga Gelombang Laut

Proses pemanfaatan air baku atau raw water merupakan awal dari suatu proses dalam penyediaan dan pengolahan air bersih. Sumber air baku bisa berasal dari sungai, danau, sumur air dalam, mata air dan bisa juga dibuat dengan cara membendung air buangan atau air laut (Subarkah, 1980) Dalam jumlah yang kecil, air bawah tanah, termasuk air yang dikumpulkan dengan cara rembesan, bisa dipertimbangkan sebagai sebuah sumber air. Kualitas air bawah tanah secara umum sangat baik bagi air permukaan dan di beberapa tempat yang memiliki musim dingin bisa memanfaatkan salju

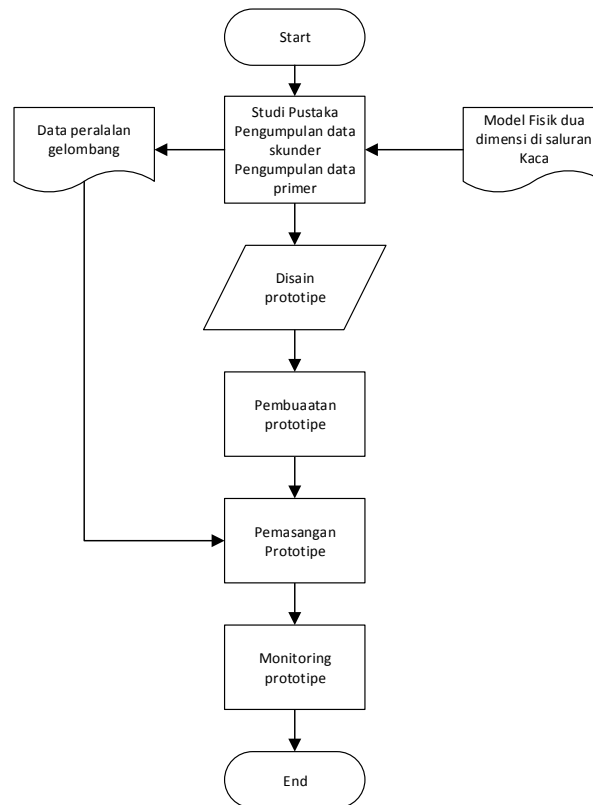
sebagai sumber air. Hal ini bisa menghemat biaya operasional dan pemeliharaan karena secara umum kualitas air bawah tanah sangat baik sebagai air baku. Khusus untuk air bawah tanah yang diambil dengan cara pengeboran tentunya melalui perijinan. Hal ini untuk mencegah terjadinya eksploitasi secara besar-besaran. Akibat dari ekplotasi secara besar-besaran bisa mengakibatkan kekosongan air dibawah tanah karena tidak seimbangnya antara air yang masuk dengan air yang diambil, sehingga menyebabkan intrusi air laut yang masuk merembes

menggantikan air tanah tersebut, akibatnya air menjadi asin dan tidak layak pakai.

METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 6, penelitian ini diawali dari pengumpulan data sekunder dan primer, pengumpulan data sekunder dari hasil survei dan studi-studi terdahulu tentang teknologi pengambilan mata air maupun teknologi pemompaan dengan tenaga gelombang dalam hal ini jenis pompa *flap*, kemudian diskusi dengan narasumber yang memiliki pemahaman mengenai teknologi tersebut. Review desain pompa *flap* dengan melakukan modifikasi desain pompa *flap* yang pernah dilakukan pada penelitian uji model fisik dua dimensi di saluran kaca pada tahun 2011, dari hasil penelitian tahun 2011 dilakukan perubahan terutama pada dimensi piston, papan osilasi yang lebih besar termasuk rangka penyangga, pemindahan posisi *intake* pipa air tawar dan material yang seluruhnya di lapiasi bahan tahan karat. Penentuan arah papan osilasi berdasarkan arah gelombang dominan dari hasil peramalan gelombang.

Tahap berikutnya berupa pembuatan *prototipe* pompa *flap* yang dilakukan di *workshop* sederhana dilakukan dengan beberapa alat perkakas untuk pembubutan, pengelasan, pengepress-an dan pemanasan material. Pengujian daya hisap dan tekan air melalui piston di *workshop* dengan bantuan tenaga manusia dari air yang di tampung pada kolam air. Pada tahap pemasangan *prototipe* di lapangan arah papan osilasi mengarah tegak lurus pada posisi gelombang dominan yang diketahui dari hasil analisa peramalan gelombang, pemasangan dilakukan pada saat kondisi air laut surut (melihat data peramalan pasang surut), berikutnya pemasangan pondasi beton pracetak yang digunakan sebagai *ancor* pompa tenaga gelombang agar tidak bergerak dibutuhkan empat buah diangkat secara manual oleh tenaga manusia, rangka penyangga dan piston/pompa diangkat dan dibaut pada pondasi, kemudian papan osilasi dibaut pada rangka dan terakhir memasang pipa pengalir ke arah pompa dan pipa pembuang ke arah tampungan di darat. Pada penelitian ini digunakan dua jenis material untuk papan osilasi yaitu dengan menggunakan kayu (Gambar 7) dan fiber (Gambar 8).



Gambar 6. Flowchat metodologi penelitian

Setelah tahap pemasangan perlu dilakukan kegiatan monitoring kinerja maupun kondisi

prototipe, pengamatan pada kedua jenis papan osilasi. Pengamatan yang dilakukan berupa:

1. Pengamatan kualitas material pompa dan pendukungnya terutama pengaruh korosi setelah pemasangan atau terutama setelah kejadian gelombang tinggi/pasang
2. Pengamatan pergerakan papan osilasi terutama masalah kemacetan/tersendatnya *shaft* yang terjadi pada saat gelombang besar.
3. Pengukuran debit pada tampungan tiap mewakili 3 kondisi muka air laut: rendah (LWL), rata-rata (MSL), tinggi (HWL)



Gambar 7. Papan Osilasi dengan menggunakan kayu



Gambar 8. Papan osilasi dengan fiber

PEMBAHASAN

Pemanfaatan mata air tawar di pantai dengan pompa tenaga gelombang diharapkan dapat membantu masyarakat dalam memanfaatkan sumber mata air yang ada. Serta teknologi ini dapat diaplikasikan langsung oleh masyarakat sekitar pantai Banyu Asri.

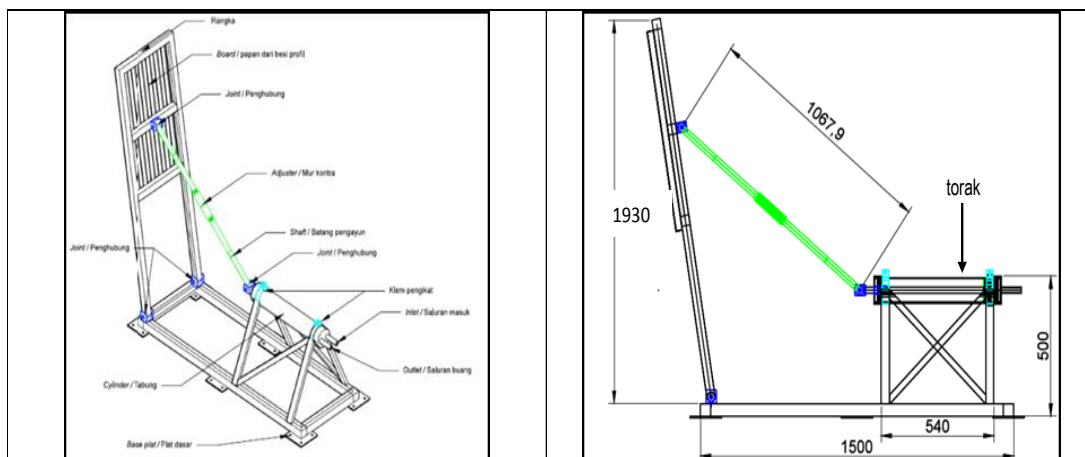
Model Pompa Gelombang

Prototip pompa tenaga gelombang tipe *flap* yang dibuat oleh Balai Pantai merupakan pengembangan dari penelitian yang telah dilakukan di Universitas Gajah Mada (Pongmanda, Triatmadja, & Nizam, 2003) dan; (Haryanto, Triarmadja, & Nizam, 2003)). Struktur utama pompa terdiri empat bagian. Bagian pertama adalah papan osilasi atau *flap*, bagian kedua silinder pompa, bagian ketiga kerangka dasar dan bagian terakhir pipa aliran masuk dan penyalur (Gambar 9). Teknologi penangkap energi gelombang dengan sistem pompa dengan torak, prinsipnya merupakan transformasi energi gelombang menjadi energi pemompaan yang menghasilkan debit air dan tinggi pemompaan. Mekanisme kerja *prototipe* melalui proses berikut:

1. Energi gelombang menggerakkan papan osilasi yang diletakkan vertikal dengan dukungan engsel di dasarnya.
2. Gerakan maju-mundur papan osilasi akan menggerakkan lengan torak/batang *shaft* yang dipasang menyudut papan osilasi.
3. Gerakan linier horisontal lengan torak menggerakkan torak maju-mundur dalam tabung horisontal dari bahan PVC diameter 4" (inci) yang disangga oleh rangka dan plat dasar tahan karat terikat pada pondasi beton.
4. Dengan melengkapi sistem katup pada torak atau tabung, gerakan torak menjadi gerak pemompaan dengan media air laut untuk mendorong air tawar di dalam tabung yang sama.
5. Agar bisa berosilasi mengikuti gerakan gelombang dengan bebas maka papan osilasi dibuat dari bahan yang mudah mengapung berupa papan kayu dan fiberglass.
6. Perbedaan utama dari kedua tipe pompa, untuk pompa air tawar saluran masuk/inlet dihubungkan dengan pipa yang menuju titik mata air, sedangkan untuk pompa energi listrik, air di sekitar inlet langsung masuk ke dalam piston.

Pada uji model fisik tahun 2011 yang dilakukan pada saluran kaca menghasilkan spesifikasi sebagai berikut (tanpa perbandingan skala), pada kondisi muka air rata-rata (MSL) :

- Head rata-rata (Z) : 1,356m
- Tinggi gelombang rata-rata : 0,225 m
- Debit pemompaan rata-rata : 0,222 L/detik
- Volume piston : 1367,417 cm³
- Luas papan osilasi : 3990 cm²



Gambar 9. Bagian Utama *Prototipe* Pompa *Flap* Gelombang Tahun 2013

Sebagai input data disain gelombang untuk struktur pompa tenaga gelombang tipe *flap* ini menggunakan metode *hindcasting*. Prinsip dasar metode ini adalah menggunakan data historis kecepatan dan arah angin untuk mendapat nilai tinggi dan periode gelombang pada waktu lampau untuk kemudian secara statistik dianalisis dan dijadikan sebagai dasar perencanaan desain. Metode tersebut kemudian dikenal dengan istilah “*wave hindcasting*” atau yang dalam bahasa Indonesia seringkali disebut “peramalan gelombang”. Untuk lokasi Banyu – Asri didapatkan nilai tinggi gelombang signifikan (H_s) dari arah dominan sebesar 1,155 m. Besarnya *head* dari titik mata air menuju darat bervariasi 1,50 s/d 2,0 meter mengacu pada hasil pengukuran bathimetri dan hidro-oseanografi, debit mata air rata-rata 0,3 L/detik. Hal yang signifikan yang berbeda dalam desain adalah pipa pengalir, dimana untuk model fisik pompa menghisap air di sekitar piston dan dikeluarkan melalui satu pipa buang, bergerak langsung naik ke atas dan menimbulkan *head* (Z), sementara untuk *prototipe* mata air ini ada dua pipa satu untuk penghisap mata air dan satu lagi untuk pendorongnya, pipa pendorong air tawar akan mengikuti kontur kemiringan pantai hingga ke arah darat sejauh ± 55 m dan ditempatkan pada elevasi -1,00 m MSL. Jauhnya posisi penempatan papan osilasi dan piston agar *prototipe* tidak

kekeringan pada saat elevasi rendah dan selalu mendapat tekanan gelombang akibat pantai yang landai.

Pada penerepan prototipe ini menggunakan studi terdahulu dimana pompa tenaga gelombang ini sudah dilakukan model fisik pada tahun 2011 untuk perbedaan ukuran antara model fisik dan prototipe dapat dilihat di Tabel 1. Untuk meningkatkan kinerja pompa hingga mendapatkan debit yang optimal dimana harus mampu memanfaatkan tinggi gelombang dari 0,225 m (uji model fisik) hingga menjadi 1,155 m (*prototipe*) maka luas papan osilasi diperbesar secara linier dengan kenaikan tinggi gelombang menjadi 5,32 kali lipat dari 3990,00 cm² menjadi 21.230,00 cm² (ukuran 193 cm x 110 cm). Untuk meningkatkan tekanan akibat posisi *prototipe* yang jauh dari darat maka diperbesar ukuran volume piston sebesar 2430,96 cm³ dengan lintasan piston 2 kali lipat (dari 30 cm menjadi 60 cm), diameter piston 3 inchi menjadi 4 inchi agar didapat debit air tawar yang optimal. Untuk bobot *prototipe* mulai dari rangka struktur, papan osilasi, piston seluruhnya memiliki bobot hingga 70 kg akan diikat dengan pondasi blok beton bertulang untuk stabilitas dasar di setiap kaki atau *base plate* nya. Untuk papan osilasi telah diuji bahannya alternatifnya berupa papan kayu dan fiber. Untuk spesifikasi bahan dan meterian pembuatan pompa flap dapat dilihat di Tabel 2.

Table 1 perbandingan ukuran antara model fisik dan prototipe

	model Fisik	Prototipe
Tinggi Gelombang (m)	0,225	1,125
Luas Papan Osilasi (cm ²)	3.990	21.230
Volume Piston (cm ³)	1.367,417	2.430,96
diameter Piston (inch)	3	4
Panjang lintasan Torak (cm)	30	60
Material	kayu	kayu dan fiber glass

Table 2 Alat Perkakas Untuk Pembuatan *Prototipe Flap* dan Jenis-jenis Material yang Digunakan

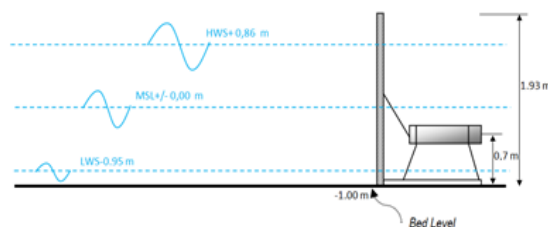
Alat perkakas yang dibutuhkan untuk pembuatan pompa flap		Bahan Material yang diperlukan untuk mebuat pompa flap	
1	Mesin Bubut	1	Silinder : PVC tebal 8 mm, diameter 4"
2	Mesin Gerinda	2	Shaft : Besi stall di Hardcrom diameter 20 mm
3	Mesin Bor	3	Dop Silinder Hardnilon diameter 4" Depan
4	Mesin Press	4	Papan osilasi
5	Mesin Las	-	Papan kayu 1930mm x 1100 mm x 20 mm, 37 kg
6	Meteran	-	Papan fiber 1930mm x 1100 mm x 20 mm, 18 kg
7	Alat Ukur	5	Rangka papan Besi hollow di coating 30 mm x 30 mm
		6	Rangka Pompa UNP 60 dicoating
		7	Valve in let Kuningan 1 "
		8	Valve out let Hardnilon dari 4" ke 1 "
		9	Membran Karet diameter 4"
		10	Base Plate 300mm x 300mm x 8mm
		11	Pondasi Block Beton Pondasi denganmengunakan kubus beton dengan tulangan 6 mm Diameter kubus beton 400 mm x 400 mm x 250 mm
		12	Kubus beton K175
		13	Selang serat Diameter 1"

Proses perakitan *prototipe* dimulai dari proses pembuatan rangka dasar untuk penyokong tabung silinder dari PVC dengan besi *hollow* yang dipress dengan sistem pengelasan untuk setiap sambungannya. Pembuatan enam plat dasar dengan empat lubang masing-masing plat untuk angkur diameter 12 mm. *Joint* atau penghubung dari besi dipasang terutama pada dasar papan osilasi dan batang pengayun/*shaft*. Pada tahap terakhir seluruh permukaan besi baik struktur rangka dari besi di beri lapisan *coating* untuk menghindari korosi.

Pemasangan *prototipe* dimulai dengan penempatan pondasi dari beton *pre-cast* di dasar pantai yang agak rata dan posisi batu karang agak jarang (Gambar 10). Kemudian rangka penyangga dihubungkan dengan baut yang ada pada pondasi. Tabung piston dimasukkan kedalam lubang rangka penyangga dan diklem kuat pada kedua ujungnya. Batang pengayun segera dihubungkan pada rangka osilasi. Saluran isap dan buang dihubungkan pada piston, saluran buang menuju arah darat, saluran isap menuju mata air. Saluran isap diklem kuat pada pada *casing* pipa mata air dan diberi stop keran untuk mengatur buka tutup air tawar ke dalam piston. Pemasangan *prototipe* harus dilaksanakan pada kondisi laut menuju surut (< MSL (muka air laut rata-rata)). Posisi penempatan *prototipe* terhadap elevasi pasang surut dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 10. Pemasangan pompa *flap* di lapangan



Gambar 11. Posisi Penempatan *Prototipe* Pompa *Flap* Gelombang Terhadap Elevasi Pasang Surut Laut

Setelah pemasangan piston, struktur rangka, papan osilasi dengan dua alternatif bahan papan kayu dan fiber, maka dilakukan monitoring kinerja pemompaan dari prototip untuk mendapatkan data tinggi gelombang di depan papan osilasi, debit air tawar hasil pemompaan di

darat termasuk kandungan garamnya, dari data-data ini akan terjadi korelasi satu sama lainnya sehingga dapat diketahui kinerja dari masing-masing alternatif papan osilasi, sehingga pada akhirnya dapat diambil kesimpulan alternatif mana yang memiliki kinerja optimal. Monitoring dilakukan masing-masing setelah seminggu pemasangan bahan papan osilasi dan setelah itu dilakukan analisis.

Hasil Pengamatan

Pengukuran debit air tawar hasil dorongan papan osilasi dengan bahan papan kayu menuju darat sejauh 55 m dapat dilihat di Tabel 1, dilakukan pada tanggal 8-9 Maret 2014 pada pukul 11.00-15.00 WITA, kondisi gelombang relatif kecil pada saat musim barat didapat tinggi gelombang rata-rata 12,83 cm, volume rata-rata tampungan air tawar 0,004 L/detik, posisi pembacaan dimulai pada elevasi muka air laut rata-rata (MSL) menuju pasang tinggi. Kandungan garam dari alat salinometer rata-rata 0,00 ppt.

Tabel 1 Hasil Pengukuran Tinggi Gelombang, Debit dan Kadar Garam dengan *Flap* Kayu

Jam	Tinggi Gelombang (cm)	Debit (Liter/dtk)	Kadar Garam (ppt)
11:15	10	0,003	0,0
11:30	12	0,003	0,0
11:45	13	0,003	0,0
12:00	13	0,006	0,0
14:15	15	0,011	0,1
14:30	15	0,003	0,1
14:45	15	0,003	0,0
15:00	15	0,003	0,0
15:15	15	0,003	0,0

Sedangkan pengukuran debit air tawar hasil dorongan papan osilasi dengan bahan fiber dilakukan pada tanggal 16 Maret 2014 pada pukul 9.00-12.45 WITA didapat tinggi gelombang rata-rata 17,69 cm, volume rata-rata tampungan air tawar 0,101 Liter/dtk, posisi pembacaan dimulai pada elevasi muka air laut rata-rata (MSL) menuju pasang tinggi. Kandungan garam dari alat salinometer rata-rata 0,107 ppt hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2 Hasil Pengukuran Tinggi Gelombang, Debit dan Kadar Garam dengan *Flap* Fiberglass

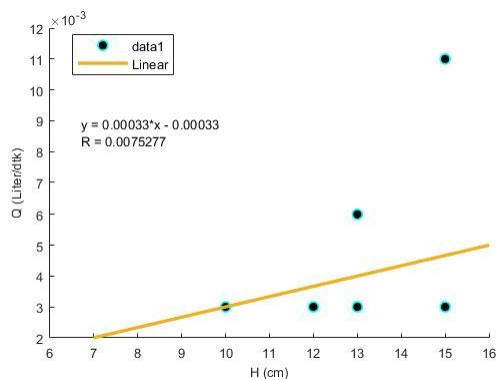
Jam	Tinggi Gelombang (cm)	Debit (Liter/dtk)	Kadar Garam (ppt)
9:00	12	0,0137	0,2
9:30	15	0,0047	0,2
9:45	20	0,5314	0,0
10:00	25	0,2723	0,0
10:15	15	0,4000	0,2
10:30	20	0,0267	0,0
10:45	17	0,0133	0,1
11:00	17	0,0300	0,1
11:45	10	0,0063	0,1
12:00	22	0,0083	0,1
12:15	12	0,0033	0,1
12:30	20	0,0017	0,2
12:45	25	0,0095	0,1

PEMBAHASAN

Analisa gerak *flap*/papan osilasi

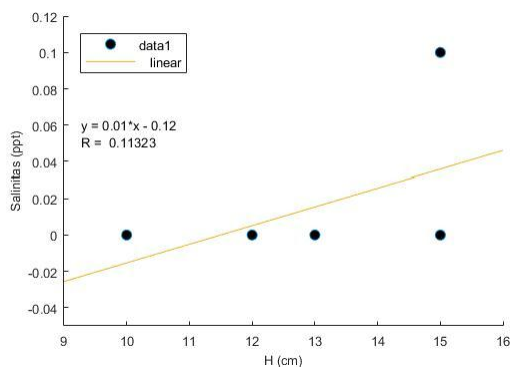
Penggunaan papan osilasi menggunakan bahan dasar kayu memang berpengaruh pada daya dorong yang dihasilkan mempengaruhi debit dan ketinggian yang diperoleh, daya hisap dan buang pada pompa dipengaruhi oleh derajat papan osilasi, atau panjang langkah piston pompa, semakin besar derajat atau panjang langkah pompa semakin besar energi gelombang yang dibutuhkan. Penggunaan papan osilasi berbahan dasar kayu dengan jenis borneo berdimensi 110 cm x 193 cm tebal 2 cm jumlah 6 lbr, memiliki bobot total 37 kg, berat tersebut memiliki pengaruh terhadap engsel rangka papan osilasi yang berbahan *hard nylon* ini akan cepat mengalami aus, sehingga gerakan yang dihasilkan tidak halus, serta beratnya daya angkat atau dorong apabila langkah piston dari TMB (Titik Mati Bawah) menuju TMA (Titik Mati Atas) berkisar 25 cm atau berkisar 150 cm, papan osilasi ini hanya bergerak pada saat tinggi gelombang (H) berkisar 15-25 cm dengan ketinggian muka air laut 145 cm.

Hasil pencatatan melalui kegiatan monitoring menghasilkan debit yang bervariasi mulai yang terkecil yaitu 0,003 Liter/dtk dan yang terbesar yaitu 0,011 Liter/dtk dari tinggi gelombang (H) : 12-15 cm, dan baru bergerak saat elevasi air laut menuju pasang mulai dari posisi MSL 0,00 m - 0,30 m. Indikasi kenaikan volume debit seiring dengan meningkatnya tinggi gelombang (H) dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Hubungan antara H vs Q untuk papan osilasi dari bahan kayu

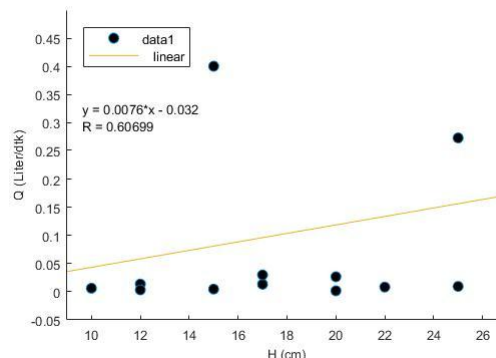
Kandungan garam diukur pada saat monitoring dibantu oleh alat salinometer, dilakukan setiap 1 menit volume pada tampungan. Rata-rata kandungan garam adalah 0,00 ppt. Akan tetapi sempat terjadi lonjakan kandungan garam pada saat tinggi gelombang (H) = 7 dan 10 cm hal ini bisa disebabkan terjadinya regangan dari komponen apakah itu membran karet piston maupun sambungan pipa atau klem dari sumber mata air, sementara itu dari grafik dapat dilihat apabila gelombang membesar kandungan garam akan mendekati nol (netral). Hubungan antara ketinggian gelombang dan salinitas dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13 Hubungan antara H vs ppt untuk papan osilasi dari bahan kayu

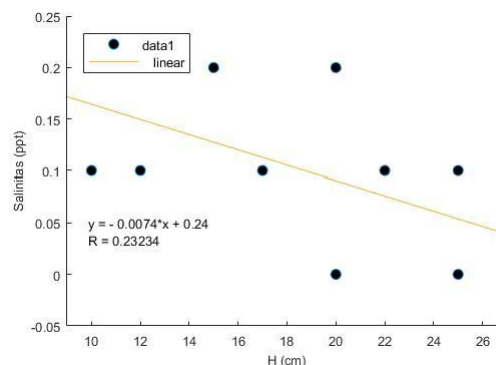
Papan berbahan fiber dengan permukaan rata berdimensi 193 cm x 110 cm tebal 5 mm, memiliki bobot yang lebih ringan yaitu 18 kg. Bobot yang ringan mempengaruhi daya dorong sehingga dapat menghasilkan debit yang bervariasi mulai yang terkecil yaitu 0,00167 Liter/dtk dan yang terbesar yaitu 0,030 Liter/dtk. Tinggi gelombang (H) yang berkisar antara 10 – 25 cm. Papan bergerak saat elevasi air laut menuju pasang mulai dari posisi MSL 0,00 m – 0,45 m. Tren kenaikan volume debit seiring dengan meningkatnya tinggi gelombang (H), akan tetapi hasil optimal hanya pada tinggi gelombang

(H) : 17 cm dan 20 cm, indikasi terjadinya penurunan kinerja di lihat dari data debit yang turun setelah tinggi gelombang lebih dari 20 cm, seperti pada gambar 14 di bawah ini :



Gambar 14 Hubungan antara H vs Q untuk papan osilasi dari bahan fiber

Kandungan garam diukur pada saat monitoring dibantu oleh alat salinometer, dilakukan setiap 1 menit volume pada tampungan. Rata-rata kandungan garam (ppm) adalah 0,01 ppt. Hal ini menunjukkan kandungan mata air yang tidak netral karena telah terkontaminasi garam air laut, walaupun demikian untuk tinggi gelombang optimal H = 20 & 25 cm kandungan dapat menjadi 0,00 ppt. Grafik hubungan antara ketinggian gelombang dan salinitas dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15 Hubungan antara H vs ppt untuk papan osilasi dari bahan fiber profil flat

Dari hasil monitoring yang diamati perbandingan antara jenis flap berbahan kayu dan fiber seperti pada Tabel 3 diamati pada saat kondisi MSL

Tabel 3 Ringkasan beberapa komponen antara kayu dan fiber

Bahan Flap	Kayu		Fiber	
Ketinggian gelombang (cm)	12	15	17	20
kedalaman (cm)	145		145	
debit (liter/detik)	0,003	0,011	0,00167	0,03
posisi (MSL) (m)	0	0.3	0	0.45

Kinerja Prototipe Pompa *Flap*

Pengujian dua jenis bahan untuk papan osilasi ditujukan untuk meningkatkan kinerja pompa *flap* tenaga gelombang, menghasilkan parameter berupa debit pemompaan dan tinggi gelombang sebagai berikut :

1. Bahan papan kayu, debit yang dihasilkan rata-rata 0,002 Liter/dtk, maksimum 0,011 Liter/dtk, pada saat tinggi gelombang H = 12-15 cm, kandungan garam rata-rata 0,00 ppt.
2. Bahan fiber flat, debit yang dihasilkan rata-rata 0,005 Liter/dtk, maksimum 0,030 Liter/dtk, pada saat tinggi gelombang H = 10-25 cm, kandungan garam rata-rata 0,10 ppt.

Kinerja dorong pompa nampak lebih tinggi bila menggunakan bahan papan osilasi berupa fiberglass, ditunjukkan pada nilai rata-rata debit maupun angka maksimum yang dihasilkan, akan tetapi masih ada kendala utama berupa kandungan garam rata-rata sebesar 0,10 ppt. walaupun ada data yang menunjukkan kandungan garam 0,00 ppt. Kebocoran sehingga masih adanya kandungan garam pada air tawar kemungkinan terjadi akibat:

1. Kurang rapatnya atau ausnya drat dop/penutup piston akibat hentakan maupun tumbukan dari batang *shaft*
2. Permukaan piston yang aus akibat gesekan membran
3. Lemahnya klem-klem atau sambungan akibat karat dan lainnya
4. Kebocoran pipa, baik *intake* maupun pembuang

Dari hasil pengamatan debit pemompaan aliran air tawar menuju tampungan tidak menerus, ada interval waktu akibat masih adanya udara yang terperangkap dalam piston, hal ini dimungkinkan akibat aliran mata air yang tidak stabil, daya hisap pompa akibat langkah piston yang terlalu tinggi. Sehingga harus dilakukan *setting* ulang batang *ajuster* (pengatur langkah papan) pada *shaft* atau perubahan volume piston. Pada saat pengamatan kinerja instrument yang digunakan masih belum lengkap disarankan untuk agar menggunakan alat ADCP untuk mengetahui tinggi gelombang dan periode secara akurat dibanding pembacaan manual. Untuk pengamatan harus dilakukan selama siklus pasang air laut (MSL-HWL/HWS-MSL) dilakukan pada musim gelombang kecil dan tinggi.

Penggunaan material pada prototip yang menggunakan bahan dari besi sebaiknya dihindari, untuk mengurangi pengaruh korosi hendaknya menggunakan bahan dari *stainless steel*. Material atau sampah di sekitar perairan pantai dapat mengganggu pergerakan papan osilasi maupun

aliran air tawar dalam pipa, oleh karena itu perlu pengecekan yang sifatnya rutin.

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian prototipe pompa *flap* tenaga gelombang untuk pemanfaatan mata air di Pantai Banyu Asri diperoleh beberapa kesimpulan. Saat pergerakan papan osilasi yang mendorong air tawar dari mata air ke darat terjadi pada saat muka air laut rata-rata (MSL=*Mean Sea Level*), oleh karena itu pompa dapat mengalirkan air tawar efektif selama 12 jam dalam sehari diakibatkan karena tipe pasang surut di perairan Pantai Banyu Asri-Singaraja merupakan tipe semi diurnal (2 kali pasang, 2 kali surut), dimana satu siklus muka air laut elevasi rata-rata menuju puncak pasang dan kembali pada rata-rata selama hanya 6 jam.

Dari hasil pengamatan tinggi gelombang yang mampu menggerakkan papan osilasi hingga mengalirkan air tawar adalah mulai dari tinggi (H) : 10 cm, dalam hal ini kondisi perairan pantai Banyu Asri-Singaraja merupakan pantai yang landai dan rata-rata memiliki tinggi gelombang (H) kecil < 40 cm karena posisinya penempatan pompa gelombang adalah setelah gelombang pecah, ketinggian gelombang > 40 cm terjadi pada musim tertentu.

Grafik gabungan H vs Q untuk bahan kayu dan fiber diperoleh bahwa untuk material dengan menggunakan bahan fiber mempunyai trend kemiringan yg lebih jika dibandingkan dengan flap berbahan kayu, sehingga debit yang dipompakan lebih besar dengan bahan terbuat dari fiber. Dari hasil variasi jenis papan osilasi menggunakan kayu dan *fiber glass*. Penggunaan papan osilasi dari bahan fiber diprioritaskan karena langkahnya lebih ringan dan dapat menghasilkan debit yang lebih tinggi di banding papan kayu. Dari hasil hubungan antara H dan ppt untuk flap jenis kayu dan fiber dapat dilihat bahwa papan osilasi berjenis kayu untuk ketinggian air semakin besar menyebabkan ppt semakin tinggi. sedangkan untuk jenis papan flap menggunakan fiber diperoleh bahwa untuk ketinggian gelombang yang kecil kadar ppt semakin tinggi sedangkan apabila gelombang makin besar maka kadar ppt semakin kecil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu penelitian ini. terutama kepada ibu Ir. Teti Kurniati, M.T. selaku kepala Balai Pantai pada saat pelaksanaan penelitian ini. Serta kepada Abimanyu, S.T selaku koordinator kegiatan pada saat pelaksanaan penelitian sumber mata air tawar di daerah pantai. serta kepada semua pihak

yang telah membantu penelitian sumber mata air tawar di pantai.

DAFTAR PUSTAKA

- Bull.SR. (2001). Renewable energy today and tomorrow . *Proceedings of the IEEE*, 89, 1216-1226.
- Abarca, E., Karam, H., Hemond, H. F., & Harvey, C. F. (2013). Transient groundwater dynamics in a coastal aquifer : The effects of tides , the lunar cycle , and the beach profile, *49*(July 2012), 2473–2488. <https://doi.org/10.1002/wrcr.20075>
- Dean, R. G., & Dalrymple, R. A. (1984). *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists. Advanced Series on Ocean Engineering* (Vol. 2). <https://doi.org/10.1142/9789812385512>
- Department of the Interior. (2006, May). *Wave Energy Potential on the U.S. Outer Continental Shelf, United States*. Retrieved March 12, 2012, from http://www.ocsenergy.anl.gov/documents/docs/OCS_EIS_WhitePaper_Wave.pdf
- Emre Ozkop, I. H. (2012). A novel switched power filter-green plug (SPF-GP) scheme for wave energy systems . *Renewable Energy* , 44, 340-358 .
- Evans, T. B., & Wilson, A. M. (2016). Groundwater transport and the freshwater – saltwater interface below sandy beaches. *Journal of Hydrology*, 538, 563–573. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.04.014>
- Ginting, J. W., & Samskerta, I. P. (2011). *Output Kegiatan Model Fisik Pembangkit Litrik Tenaga Gelombang Laut TA.2011*. Bandung: PUSLITBANG SDA.
- Haryanto, B., Triarmadja, R., & Nizam. (2003). Optimasi Pompa Air Laut Energi Gelombang. *Teknosains 2003, XVI (2)*, 22-33.
- Lubis, R. F., & Bakti, H. (2013). MATA AIR TAWAR DI TENGAH LAUT. In B. Geologi, *Geomagz* (pp. 38-40). Bandung: Badan Geologi - Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral .
- McCormick, M. E. (1981). *Ocean Wave Energy Conversion*. New York : John Wiley& Sons.
- Moosdorf, N., & Oehler, T. (2017). Earth-Science Reviews Societal use of fresh submarine groundwater discharge : An overlooked water resource. *Earth-Science Reviews*, 171(August 2016), 338–348. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.06.006>
- Nehring.R. (2009). Traversing the mountaintop: world fossil fuel production to 2050.
- Pantai, B. (2012). *Pengembangan Teknologi Perlindungan dan Pemanfaatan Mata Air di Daerah Pantai Berkarang/Bertebing dengan sasaran prototip Perlindungan dan Pemanfaatan Mata Air secara sederhana non konvensional* . Bandung: Laporan Akhir - Pusat Litbang Sumber Daya Air .
- Pongmanda, S., Triatmadja, R., & Nizam. (2003). Studi Efisiensi Pompa Aor Laut Energi Gelombang Tipe Flap. *Teknosains 16B*, 168-178.
- Robinson, C., Xin, P., Li, L., & Barry, D. A. (2014). Groundwater flow and salt transport in a subterranean estuary driven by intensified wave conditions, *50*(November 2013), 165–181. <https://doi.org/10.1002/2013WR013813>
- Siliman, P. (2001). *Thesis: Studi Efisiensi Pompa Air Laut Energi Gelombang Tipe Flap* . Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Subarkah, I. (1980). *Hidrologi Untuk Perencanaan Bangunan Air*. Bandung: Idea Dharma Bandung.
- Triatmodjo, B. (1999). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Penerbit Beta Offset.
- Vining JG, M. A. (2009, 2). Economic factors and incentives for ocean wave energy conversion . *IEEE Transactions on Industry Applications*, 45, 547-554.