

**ANALISIS PEMANFAATAN ENERGI SURYA, ANGIN DAN
GELOMBANG LAUT DALAM MENGATASI KELANGKAAN BBM BAGI
MASYARAKAT PESISIR PANTAI**

Hafizh Akbar¹, Imam Cahyadi², dan Imaduddin Zanki³

¹Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta,
Indonesia.

^{2,3}Pendidikan Teknik Mekatronika, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta,
Indonesia.

¹hafizhakbar.2018@student.uny.ac.id, ²imamcahyadi.2018@student.uny.ac.id,

³imaduddinzanki.2018@student.uny.ac.id

Abstract

The scarcity of fuel oil is a matter of concern for the world community, including the people of Indonesia, especially those living in coastal areas and in fact work as fishermen. Rising prices, difficult access and consumption of fuel that is done continuously is crucial, the impact is that there are still many coastal communities who suffer from lack of fuel to go out to sea and fulfill their daily needs. This condition shows that maritime technology innovation is needed with renewable energy that is environmentally friendly and easy to operate and reach by coastal communities. Technological innovation with the use of three renewable energy sources is a renewable energy innovation that uses three energy sources as an energy source for electricity generation. The electricity generated from the accumulation of the three energy will be stored in a battery and then used to drive the fishing boat engine and generator as a power plant for the coastal community. The purpose of this paper is to find out the system design and usage concept of "Analysis of Utilization of Solar Energy, Wind and Sea Waves in Overcoming Fuel Scarcity for Coastal Communities". The method of writing this paper uses research and development with the ADDIE model, which is currently at the (Development) stage. With the application of technological innovation by utilizing these three renewable energy sources, it is expected to meet the needs of coastal community energy sources and be a solution to the scarcity of world fuel oil.

Keywords: *Coastal, Energy, Sea, Solar, Wind.*

Pendahuluan

Indonesia telah memasuki Era Revolusi Industri 4.0 pemerintah Indonesia mengimbau pentingnya mengantisipasi perubahan arus teknologi yang berdampak

keseluruhan aspek kehidupan tak terkecuali ekonomi, politik, sosial, serta budaya[1], [2]. Sebagai suatu negara maritim, Indonesia memiliki wilayah daratan seluas 1,9 juta km² dan total luas wilayah lautan yang mencapai 5,9 juta km² yang terdiri dari 3,2 juta km² perairan teritorial dan 2,7 km² perairan Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE) Indonesia, namun luas total tersebut belum terdapat batas landas kontinen[3]. Keadaan wilayah ini membuat Indonesia memiliki potensi kelautan yang cukup besar, hal ini seharusnya dapat mensejahterakan kehidupan masyarakat terutama yang bermukim di daerah pesisir.

Masyarakat pesisir merupakan masyarakat yang hidup, tumbuh, dan berkembang di kawasan pesisir dengan mengelola sumber daya alam yang tersedia di lingkungannya untuk memenuhi kebutuhan hidup. Nelayan merupakan mayoritas masyarakat pesisir merupakan suatu kelompok masyarakat yang kehidupannya bergantung langsung kepada hasil laut. Mereka pada umumnya tinggal di pinggir pantai, sebuah lingkungan pemukiman yang dekat dengan lokasi kegiatannya[4].

Namun kenyataannya, kehidupan masyarakat nelayan senantiasa dilanda kemiskinan, bahkan kehidupan nelayan sering diidentikkan dengan kemiskinan. Mereka adalah salah satu kelompok sosial penduduk atau komunitas yang selama ini terpinggirkan baik secara sosial, ekonomi, maupun politik dan teridentifikasi miskin dan terendah pendapatannya disamping petani sehingga wajar orang mengistilahkan mereka sebagai *the poorest of the poor*. Kurang dari 14,58 juta jiwa atau sekitar 90% dari 16,2 juta jumlah nelayan di Indonesia belum berdaya secara ekonomi maupun politik, dan berada di bawah garis kemiskinan (Kompas.com, 2019).

Tingkat kesejahteraan para pelaku perikanan (nelayan) pada saat ini masih di bawah sektor-sektor lain, termasuk sektor pertanian agraris. Nelayan (khususnya nelayan buruh dan nelayan tradisional) merupakan kelompok masyarakat yang dapat digolongkan sebagai lapisan sosial yang paling miskin diantara kelompok masyarakat lain di sektor pertanian. Bisa dilihat difakta bahwa nelayan sebagai aktor utama dalam sektor ini masih di bawah garis kemiskinan (Syahroni, 2010 dalam Viyana, 2016). Berdasarkan Data dari Badan Pusat Statistik (BPS), jumlah nelayan miskin di

Indonesia pada 2011 mencapai 7,87 juta, atau sekitar 25,14 persen dari total populasi kemiskinan negara itu mencapai 31,02 juta orang[16].

Faktor-faktor kemiskinan masyarakat nelayan dapat dikategorikan kedalam faktor alamiah dan nonalamiah[5]. Faktor alamiah berkaitan dengan fluktuasi musim-musim penangkapan ikan dan struktur alamiah sumber daya ekonomi desa. Faktor nonalamiah berhubungan dengan keterbatasan daya jangkau teknologi penangkapan, ketimpangan dalam sistem bagi hasil dan tidak adanya jaminan sosial tenaga kerja, lemahnya penguasaan jaringan pemasaran hasil tangkapan dan belum berfungsinya koperasi nelayan yang ada, teknologi konservasi atau pengolahan yang sangat tradisional, serta dampak negatif orientasi produktivitas yang dipacu oleh kebijakan motor. Serta faktor nonalamiah lainnya seperti modal terbatas untuk menumbuhkan bisnis, tingkat pendidikan, berpenghasilan rendah, perilaku ekonomi rumah tangga nelayan diprediksi boros, tidak ada mata pencaharian alternatif (mata pencaharian), dan perencanaan non-teritorial dukungan[16].

Nelayan di Indonesia sendiri terdapat dua tipe yaitu nelayan tradisional dan nelayan modern[6]. Nelayan modern menggunakan modal yang banyak serta teknologi yang lebih modern dibandingkan dengan nelayan tradisional. Penggunaan modal memberi dampak terhadap ketersediaan bahan bakar, penggunaan motor untuk mengerakkan perahu, serta tingkat eksplotasi dari alat tangkap yang digunakan. Hal tersebut tentu akan berpengaruh pada kemampuan jelajah operasional dan hasil tangkapan mereka. Sedangkan nelayan tradisional merupakan nelayan yang memanfaatkan sumber daya perikanan dengan modal usaha yang kecil, dan organisasi penangkapan yang relatif sederhana. Sehingga tidak stabil harga dan langkanya bahan bakar minyak di daerah pesisir sangat mempengaruhi kondisi ekonomi nelayan tradisional.

Keadaan ini membuktikan bahwa perlunya suatu inovasi teknologi energi terbarukan serta ramah lingkungan sebagai alternatif pengganti BBM. Energi ramah lingkungan merupakan energi yang dapat diperbarui serta tidak mencemari lingkungan. Energi ramah lingkungan yang memiliki potensi cukup besar untuk

dikembangkan sebagai energi terbarukan (*renewable energy*) adalah energi surya, energi gelombang laut, dan energi angin. Berdasarkan Lokakarya Perhitungan Sumber Daya Energi Laut yang diselenggarakan oleh Asosiasi Energi Laut Indonesia (ASELI) dan Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (PPPGL), secara teoritis industri berbasis teknologi gelombang dan teknologi arus pasang surut, memiliki potensi praktis sebesar 6.000 MW[7]. Kemudian energi surya di Indonesia memiliki intensitas sebesar 8,8 kWh/m²/hari dan intensitas tenaga angin sebesar 9.290 MW [8].

Ketiga konsep ini apabila dikembangkan akan menjadi suatu hal yang dapat sangat menghemat penggunaan BBM dan dapat digunakan sebagai alternatif generator sebagai pembangkit listrik untuk penggunaan listrik di pemukiman daerah pesisir terutama bagi daerah tertinggal, terdepan, dan terluar (3T) karena untuk menjangkau daerah pesisir yang jauh dari pusat kota serta akses jalan yang buruk sehingga dari pihak PLN sulit untuk melakukan pemasangan listrik ke daerah pesisir tersebut. Maka dari itu penulis menawarkan sebuah inovasi pada perahu nelayan dengan proposal yang berjudul “Analisa Pemanfaatan Energi Surya, Angin dan Gelombang Laut dalam Mengatasi Kelangkaan BBM bagi Masyarakat Pesisir Pantai”. Inovasi ini dapat diterapkan pada perahu nelayan untuk menggerakkan mesin perahu nelayan dan sebagai sumber penghasil listrik masyarakat di daerah pesisir.

Berdasarkan pembahasan diatas dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

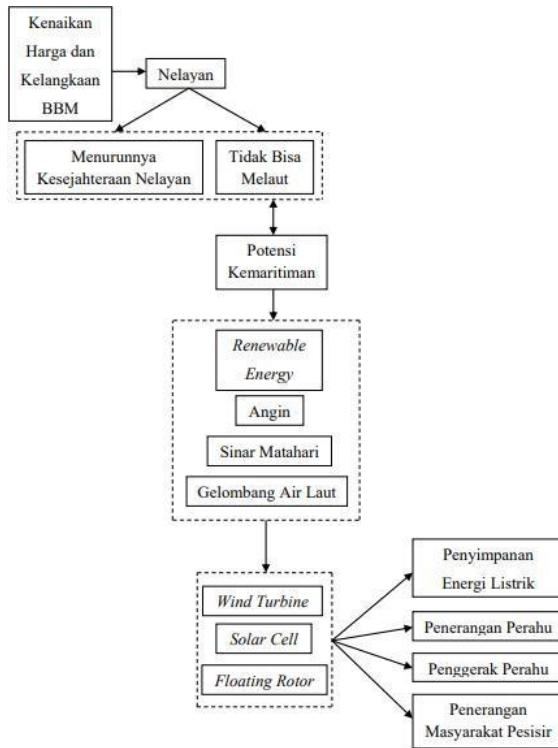
- 1) Bagaimana inovasi dan rancangan analisa pemanfaatan energi surya, angin dan gelombang laut? 2) Bagaimana relevansi analisa pemanfaatan energi surya, angin dan gelombang laut sebagai solusi kelangkaan bahan bakar minyak pada mesin perahu nelayan serta unit penerangan bagi masyarakat pesisir?

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut: 1) Mengetahui inovasi dan rancangan analisa pemanfaatan energi surya, angin dan gelombang laut. 2) Mengetahui analisa pemanfaatan energi surya, angin dan gelombang laut sebagai solusi kelangkaan bahan bakar minyak pada mesin perahu nelayan serta unit penerangan bagi masyarakat pesisir.

Dengan dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat membantu memberikan informasi terkait dengan pemanfaatan energi terbarukan. Semoga dengan adanya penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam pemanfaatan dan pengembangan energi alternatif yang bersih dan ramah lingkungan yang dapat digunakan untuk sumber energi baru terutama energi arus lemah (arus DC). Penelitian ini sangat membantu mengurangi ketergantungan dengan energi dari bahan bakar fosil serta dapat memanfaatkan energi dari alam yaitu dengan pemanfaatan energi angin, tenaga surya dan gelombang laut yang tersedia di bumi ini.

Metode Penelitian

Metode penelitian yang kami gunakan adalah mengacu pada model penelitian dan pengembangan ADDIE. Model ini menggunakan lima tahapan yaitu analisis (*analyze*), desain media (*design*), pengembangan (*develop*), implementasi (*implementation*), dan evaluasi (*evaluation*). Model ADDIE muncul pada tahun 1990-an oleh Reiser dan Mollenda. Salah satu fungsi ADDIE yaitu menjadi pedoman dalam membangun perangkat dan infrastruktur program pelatihan yang efektif, dinamis, dan mendukung kinerja pelatihan itu sendiri[13]. Pada saat ini berada pada tahap development dalam model ADDIE yang berisi kegiatan realisasi rancangan produk. Dalam tahap desain sebelumnya, telah disusun kerangka konseptual penerapan model/metode alat. Dalam tahap pengembangan, kerangka yang masih konseptual tersebut direalisasikan menjadi produk yang siap diimplementasikan. Sebagai contoh, apabila pada tahap design telah dirancang penggunaan model/metode baru yang masih konseptual, maka pada tahap pengembangan disiapkan dengan model/metode baru tersebut.



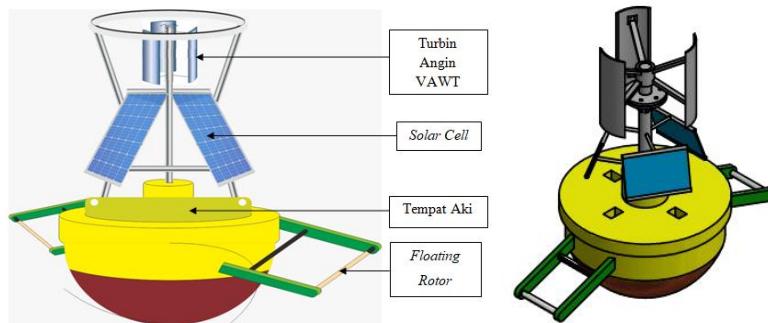
Gambar 1. Kerangka Analisa Pemanfaatan Energi Surya, Angin, dan

Gelombang Laut

(Sumber: Desain Pribadi)

Hasil dan Pembahasan

Rancangan Analisa Pemanfaatan Energi Surya, Angin dan Gelombang Laut



Gambar 2. Desain Alat

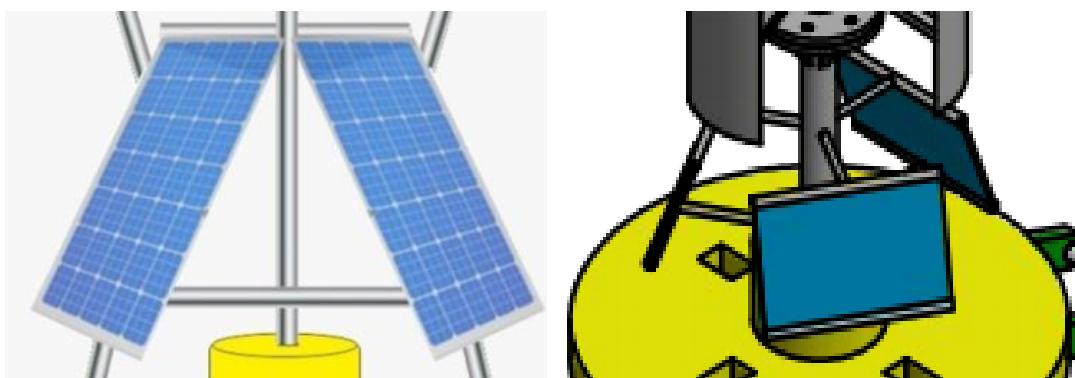
(Sumber: Desain Pribadi)

Prinsip Kerja *Solar Cell*

Dalam pemanfaatan energi surya, angin dan gelombang laut ini, *solar cell* ditempatkan di bagian atas alat dengan permukaan dalam posisi miring menghadap kedepan-atas. Hal ini dimaksudkan agar *solar cell* mendapatkan cukup cahaya matahari agar dapat menyimpan energi secara maksimal. Sel fotovoltaik pada solar cell adalah perangkat semikonduktor yang dimilikinya permukaan lebar, terdiri dari serangkaian dioda jenis P dan N. Sinar matahari (cahaya) yang tentang sel surya yang menghasilkan elektron dengan muatan positif dan lubang bermuatan negatif, kemudian elektron dan lubang yang mengalir untuk membentuk arus listrik satu arah, elektron akan meninggalkan sel surya dan mengalir di jaringan eksternal, hingga muncul Arus listrik dari prinsip ini disebut fotolektrik. Kapasitas saat ini yang dihasilkan tergantung dalam intensitas cahaya serta panjang gelombang cahaya jatuh pada sel surya. Intensitas cahaya menentukan jumlah foton, semakin besar intensitas cahaya yang mencolok permukaan sel surya menjadi lebih besar seperti foton dimiliki sehingga semakin banyak pasangan elektron dan lubang yang dihasilkan akan menghasilkan jumlah arus yang mengalir. Semakin pendek panjang gelombang cahaya semakin tinggi energi foton semakin besar energi elektron yang dihasilkan, dan juga menunjukkan ukurannya mengalir saat ini. Dengan memperluas panel surya berarti menambah konversi tenaga surya. Umumnya panel sel surya dengan ukuran tertentu memberikan hasil yang tertentu juga. Contohnya ukuran a cm x b cm menghasilkan listrik DC (Direct Current) sebesar x watt per hour.

Watt peak / Wp adalah satuan yang menyatakan daya produksi tertinggi yang dapat dihasilkan oleh panel surya sesuai kondisi tertentu. Satuan Ukuran Panel Surya ini menjelaskan jumlah produksi daya yang didapat ketika matahari bersinar dengan tingkat penyinaran tertinggi. Penyinaran matahari tidak selalu stabil dalam satu hari, matahari mengalami puncak hanya 4-6 jam/hari tergantung lokasi. Waktu 4-6 jam inilah waktu ideal panel surya menghasilkan daya terbaik (Pmax), yang ditunjukkan dengan satuan watt peak.

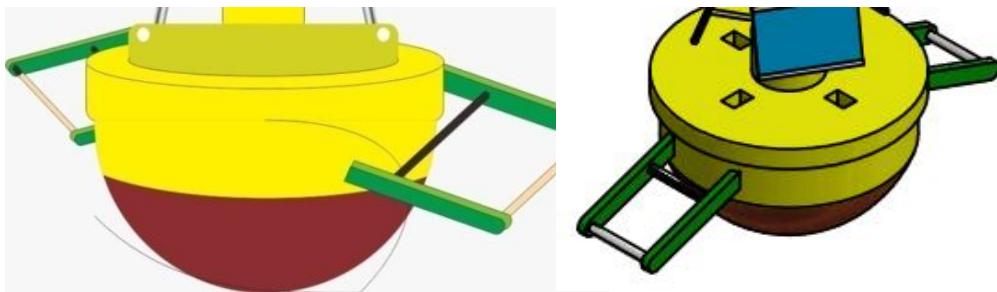
Prinsip kerjanya apabila permukaan sel surya dikenai cahaya maka dihasilkan pasangan elektron dan *hole*. Elektron akan meninggalkan sel surya dan akan mengalir pada rangkaian luar sehingga timbul arus listrik. Arus listrik yang dihasilkan oleh sel surya dapat dimanfaatkan langsung atau disimpan dulu dalam baterai untuk digunakan kemudian.



Gambar 3. Desain *Solar Cell* pada Alat
(Sumber: Desain Pribadi)

Prinsip Kerja *Floating Rotor*

Dengan banyaknya pelampung akan membuat poros terus-menerus berputar karena disaat beberapa pelampung bergerak turun maka akan ada juga pelampung yang bergerak naik. Perputaran poros tersebut dapat berfungsi sebagai penggerak *rotor* utama pada *generator*, selanjutnya energi listrik yang dihasilkan akibat pergerakan *rotor* utama dapat disimpan pada aki yang nantinya dapat dimanfaatkan untuk sumber listrik masyarakat pesisir maupun penggerak motor perahu nelayan. Energi potensial gelombang laut dengan lebar 2,4 m, air laut 1030 kg/m^3 , dan gravitasi bumi $9,81 \text{ m/s}^2$, persamaan untuk menghitung energi gelombang laut yang dihasilkan cukup untuk menghitung potensi energi saja. Karena pergerakan gelombang laut yang menghasilkan energi dalam sistem ini adalah energi potensial atau hanya gelombang naik dan turun, perhitungan lebih lanjut di pembahasan.



Gambar 4. Desain *Floating Rotor* pada Alat

(Sumber: Desain Pribadi)

Prinsip Kerja Turbin Angin *Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)*

Turbin angin yang digunakan adalah turbin angin jenis *Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)* tipe *Squirrel Cage Darrieus*. Turbin angin *Squirrel Cage Darrieus* merupakan salah satu jenis turbin angin sumbu vertikal (VAWT) yang dapat digunakan pada angin dengan kecepatan rendah sehingga arus listrik tetap dapat dihasilkan walaupun kecepatan angin berkurang. Pada *rotor Squirrel Cage Darrieus*, angin yang berhembus salah satu bilah *rotor* diharapkan lebih banyak mengalir ke bilah *rotor* lainnya melalui celah di sekitar poros sehingga menyediakan daya dorong tambahan pada bilah *rotor* ini, akibatnya *rotor* dapat berputar lebih cepat. Turbin ini mudah dalam proses pembuatan dan perakitannya serta memiliki efisiensi daya yang tinggi.



Gambar 5. Desain Turbin Angin pada Alat

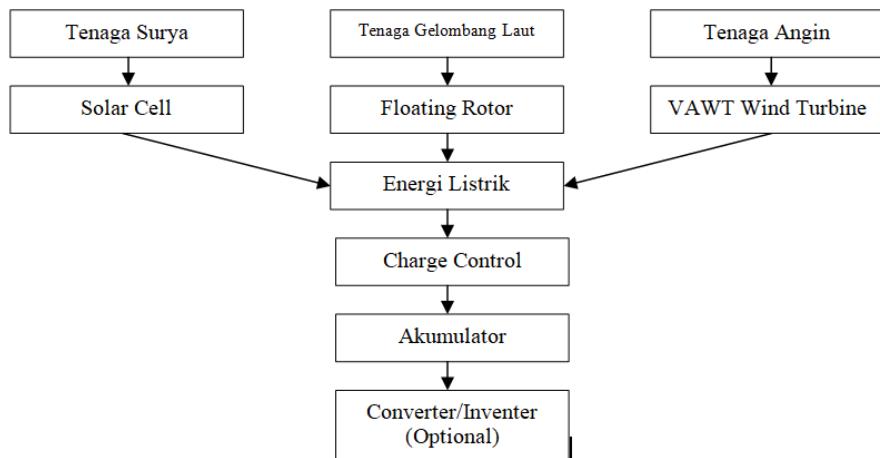
(Sumber: Desain Pribadi)

Analisa Pemanfaatan Energi Surya, Angin dan Gelombang Laut

Kelangkaan bahan bakar minyak (BBM) mulai saat ini merupakan hal yang mengkhawatirkan bagi masyarakat dunia, tak terkecuali masyarakat Indonesia khususnya yang tinggal di daerah pesisir dan *notabane* nya berprofesi sebagai nelayan. Meningkatnya harga, sulitnya akses dan konsumsi BBM yang dilakukan secara terus menerus merupakan hal yang krusial, dampaknya masih banyak masyarakat daerah pesisir pantai yang mengalami kekurangan bahan bakar untuk pemenuhan kebutuhan sehari-hari khususnya sebagai bahan bakar utama perahu untuk melaut. Biasanya perahu nelayan menggunakan bahan bakar minyak jenis solar untuk menggerakkan mesin pendorong perahu tersebut. Bahkan sebagian masih menggunakan layar angin sebagai tenaga pendorong perahu tersebut. Sedangkan kondisi bahan bakar minyak semakin hari semakin mengkhawatirkan.

Oleh karena itu muncul sebuah inovasi dalam penyediaan suatu energi terbarukan dengan cara memanfaatkan inovasi teknologi dengan pemanfaatan tiga sumber energi terbarukan pada perahu nelayan. Tiga energi inilah yang digabungkan untuk pengecasan akumulator, kemudian akumulator tersebut digunakan sebagai sumber energi penggerak mesin motor perahu dan penerangan kapal. Pemanfaatan tiga jenis energi tersebut dapat dimanfaatkan dengan mengaplikasikan *solar cell*, *floating rotor* dan turbin angin VAWT pada perahu nelayan. Sistem kerjanya adalah energi yang dihasilkan dari tiga jenis sumber energi tersebut diakumulasi dan disimpan ke dalam akumulator, lalu akumulator ini yang digunakan sebagai sumber energi perahu nelayan.

Berikut adalah diagram mekanisme kerja dari inovasi teknologi dengan pemanfaatan energi surya, angin dan gelombang laut pada perahu nelayan:



Gambar 6. Desain Blok Alat
(Sumber: Analisis Pribadi)

Relevansi Analisa Pemanfaatan Energi Surya, Angin dan Gelombang Laut

Tujuan utama dari konsep teknologi ini adalah pemanfaatan energi surya, angin dan gelombang laut pada pemukiman masyarakat pesisir dan perahu nelayan. Sehingga hasil energi yang didapat dari teknologi terbarukan ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber tenaga listrik pada perahu nelayan untuk menggerakkan motor perahu maupun sebagai sumber penerangan perahu nelayan.

A. Perhitungan Penggunaan Turbin VAWT

Perhitungan awal berdasarkan data yang didapatkan. Minimum daya yang dapat diekstraksi dari angin adalah, $P_{mw} = 800 \text{ W}$. Kecepatan angin minimum untuk dapat mengekstraksi daya tersebut $v_{mw} (\text{m/s}) = 2 \text{ m/s}$. Untuk stabilitas, rasio diameter terhadap tinggi blade $D/H = 1.2$, $D = 1.2 \times H$ [14].

$$A_{\text{swept}} = \pi \times D \times H = 1.2 \times \pi \times H^2$$

$$P_{mw} = 0.5 \times \rho_{\text{udara}} \times A_{\text{swept}} \times V^3$$

$$800 = 0.5 \times 1.225 \times 1.2 \times \pi \times H^2 \times V^3$$

$$800 = 18.4632 \times H^2$$

Sehingga dapat dihitung,

$$H = (800/18.4632)0.5$$

$$H = 6.58251 \text{ m.}$$

$$D = 1.2 \times H$$

$$D = 7.899012 \text{ m.}$$

Maka dapat ditentukan bahwa tinggi dari blade, $H = 6.5 \text{ m}$ dan diameter dari VAWT, $D = 8 \text{ m}$. Sehingga $D/H = 7.9/6.5 = 1.23$. Kemudian besarnya luasan daerah yang tersapu oleh blade dapat diketahui dengan menggunakan rumus:

$$A_{\text{swept}} = \pi \times D \times H$$

$$A_{\text{swept}} = 3.14 \times 7.9 \times 6.5$$

$$A_{\text{swept}} = 163.28 \text{ m}^2.$$

Dari data kecepatan angin, dapat diketahui bahwa kecepatan angin rata-rata adalah 3 m/s. Maka daya yang diekstraksi sebenarnya pada kecepatan angin, $v = 3 \text{ m/s}$ sesuai dengan rumus 2.10 adalah:

$$P_w = 0.5 \times \rho_{\text{udara}} \times A_{\text{swept}} \times V^3 \quad P_w = 0.5 \times 1.225 \times 163.28 \times 27 \quad P_w = 2700.243 \text{ W}$$

Kemudian diasumsikan tips speed ratio (TSR), $\lambda = 1.6$, maka Efisiensi wind turbine dapat diketahui dengan menggunakan rumus:

$$\eta_{\text{wt}} = 0.055\lambda + 0.399$$

$$\eta_{\text{wt}} = (0.055 \times 1.6) + 0.399$$

$$\eta_{\text{wt}} = 0.487 \quad \eta_{\text{wt}} = 48.7 \%$$

Sehingga didapatkan efisiensi wind turbine, $\eta_{\text{wt}} = 48.7 \%$. Kemudian daya pada poros turbin, P_T dapat diketahui dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P_T = P_w \times \eta_{\text{wt}}$$

$$P_T = 2700.243 \times 48.7\% \quad P_T = 1315.018 \text{ W.}$$

Diasumsikan efisiensi generator, $\eta_{\text{generator}} = 0.8$. Maka daya elektris yang dihasilkan generator sesuai dengan rumus:

$$\text{Pelektris} = P_T \times \eta_{\text{generator}} \quad P_{\text{elektris}} = 1315.018 \times 0.8 \quad P_{\text{elektris}} = 1052.015 \text{ W.}$$

Kemudian kecepatan rotasi turbin dapat diketahui dengan menggunakan rumus berikut:

$$\omega = (\lambda \times v/R) \times (60/\pi)$$

$$\omega = (1.6 \times 3 / 4) \times (60 / 3.14) \omega = 11.46497 \text{ rpm.}$$

Kemudian besarnya torsi yang dihasilkan dapat diketahui dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$T = P_T / \omega$$

$$T = 1315.018 / 11.46497 T = 114.6988 \text{ Nm.}$$

Kemudian memeriksa nilai tips speed ratio (TSR) dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\lambda = \omega \times R \times 2\pi / (v \times 60)$$

$$\lambda = 11.46497 \times 4 \times 2 \times 3.14 / (3 \times 60)$$

$$\lambda = 1.6$$

Kemudian dapat dilakukan perhitungan panjang chord. Besarnya nilai solidity (σ) minimum untuk VAWT adalah 0.4, maka panjang chord minimum untuk jumlah blade 3 buah dapat diketahui dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\sigma = NB \times C / D 0.4 = 3 \times C / 8$$

$$C = 0.4 \times 8 / 3 C = 1.067 \text{ m.}$$

Maka dapat diambil nilai untuk panjang chord adalah 1.5 m dan 2 m.

Dari simulasi hasil yang didapatkan berupa besarnya gaya lift dan gaya drag. Sebagai contoh pada variasi panjang chord 1.5 m, sudut pitch 10° , didapatkan gaya lift sebesar 130.9687 N dan gaya drag 23.3231 N [14]. Untuk itu besarnya koefisien lift dan koefisien drag dapat diketahui berdasarkan rumus diatas yaitu:

Koefisien lift

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \rho A_{blade} v^2$$
$$130.9687 = \frac{1}{2} \times C_L \times 1.225 \times 20.0583 \times 3^2$$
$$C_L = 1.1844711981$$

Koefisien drag

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho A_{blade} v^2$$
$$23.3231 = \frac{1}{2} C_D \times 1.225 \times 20.0583 \times 3^2$$
$$C_D = 0.210933$$

Sehingga koefisien tangensial dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C_t &= C_l \sin \alpha - C_d \cos \alpha \\ C_t &= 1.1844711981 \sin 10 - 0.210933 \cos 10 \\ C_t &= (1.1844711981 \times 0.174) - (0.210933 \times 0.985) \\ C_t &= 0.09995 \end{aligned}$$

Torsi yang dihasilkan dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned} Q &= 0.5 \times \rho \times C_x \times R \times H \times C_t \times v^2 \\ Q &= 0.5 \times 1.225 \times 1.5 \times 4 \times 6.5 \times 0.09995 \times 3^2 \\ Q &= 21.488 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Untuk jumlah blade 3 buah, torsi rata-rata yang dihasilkan dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned} Q_{av} &= \frac{\frac{N}{2\pi} Q}{3} \\ Q_{av} &= \frac{21.488}{2 \times 3.14} \\ Q_{av} &= 101.2089 \text{ Nm.} \end{aligned}$$

Data yang diperoleh dari hasil simulasi berupa data numeric adalah gaya lift dan gaya drag. Perhitungan gaya torsi ditabulasikan pada tabel berikut. Kemudian dari data tersebut dibuat grafik sebagai berikut. Grafik perubahan torsi terhadap jumlah blade berdasarkan sudut pitch pada panjang chord 1.5 m.

Tabel 1. Perhitungan pada panjang chord 1.5 m[14].

No	Sudut Pitch (°)	F_L	F_{drag}	C_L	C_d	C_T
1	10	130.9687	23.3231	1.184471981	0.210933	0.09995043
2	11	130.2051	25.5227	1.177566034	0.230826	0.05055951

No	Sudut Pitch (°)	C_T	Torsi (Nm)
1	10	0.099950427	21.48809233
2	11	0.050559509	10.86966255

Torsi Rata-rata panjang chord 1,5 m		
No	Jumlah Blade	Torsi Rata-rata(Nm)
10	3	101.2089149
10	4	134.9452198
11	3	51.1961106
11	4	68.2614808

Tabel 2. Perhitungan pada panjang chord 2 m[14].

Panjang chord =		2 m		Ablade		26.7145	
No	Sudut Pitch (°)	F _H	F _{zRF}	C _L	C _D	C _T	
1	10	128.8214	22.8314	0.874766941	0.155038	0.0745337	
2	11	131.1992	26.5107	0.890913489	0.180022	0.033015	
Torsi Rata-rata panjang chord 2 m							
No	Jumlah Blade	Torsi Rata-rata(Nm)					
10	3	100.6295535					
10	4	134.1727381					
11	3	44.57426729					
11	4	59.43235639					

Tabel 3. Hasil Perhitungan[14].

No	Sudut Pitch	Panjang Chord	Jumlah Blade	Torsi (Nm)	P _T (Watt)	Efisiensi (%)	P _{extra} (Watt)
1	10	1,5 m	3	101.2089149	1160.357	42.97231715	928.285589
2			4	134.9452198	1547.143	57.29642287	1237.71412
3	11	1,5 m	3	51.1961106	586.9618	21.73736873	469.569422
4			4	68.2614808	782.6157	28.98315831	626.092563
5	10	2 m	3	100.6295535	1153.715	42.72632599	922.971701
6			4	134.1727381	1538.286	56.96843465	1230.62894
7	11	2 m	3	44.57426729	511.0426	18.92579871	408.834044
8			4	59.43235639	681.3901	25.23439828	545.112059

Dari data-data yang ditabulasikan dalam bentuk tabel diatas, dapat diketahui bahwa rata-rata daya yang bisa dihasilkan oleh satu turbin angin adalah 1237.71412 W. Jadi, daya yang dihasilkan kurang lebih sebesar:

Pturbin angin = 1237.71412 W x 1 buah

Pturbin angin = 1237.71412 W.

B. Perhitungan Penggunaan Energi Gelombang Laut

Potensi energi gelombang laut dengan lebar chamber 2,4 m, ρ air laut 1030 Kg/m³, dan gravitasi bumi 9,81 m/s², persamaan untuk menghitung energi gelombang laut yang dihasilkan cukup dengan menghitung energi potensial saja. Karena pergerakan gelombang laut yang menghasilkan energi pada sistem ini merupakan energi potensial atau naik turun gelombangnya saja[15]. Sementara untuk gerakan gelombang laut yang maju mundur tidak menghasilkan energi maka menggunakan persamaan:

$$E_w = \frac{1}{4} \cdot w \cdot \rho \cdot g \cdot a^2 \cdot \lambda (J)$$

Contoh perhitungan pada pantai perairan Aceh pada kondisi A

$$E_w = \frac{1}{4} \cdot 2,4 \text{ m} \cdot 1030 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (0,2\text{m})^2 \cdot 12,9\text{m} \quad (\text{J})$$

$$E_w = 3129,494 \text{ (J)}$$

Tabel 4. Hasil perhitungan Potensi energi gelombang laut[15]

No	Lokasi	Potensi Energi gelombang laut Kondisi min (J)	Potensi Energi gelombang laut Kondisi maks (J)
1	Perairan utara Aceh	3129,494	764036,6
2	Perairan barat Aceh hingga Sumatera Utara	10562,05	859437,3
3	Perairan barat Sumatera Barat	25035,96	1073416
4	Perairan barat Bengkulu hingga Lampung	25035,96	2683150
5	Selat Sunda	10562,05	1921901
6	Perairan selatan Banten hingga Jawa Barat	48898,35	3129494
7	Perairan selatan Jawa Tengah	48898,35	3129494
8	Perairan selatan Jatim	48898,35	3129494
9	Perairan selatan Bali hingga NTB	25035,96	1320255
10	Laut Sawu	25035,96	1073416
11	Laut Timor	25035,96	859437,3
12	Selat Malaka	391,1868	25035,95
13	Laut Natuna	25035,96	764036,6
14	Selat Karimata	3129,494	200287,6
15	Perairan selatan Kalimantan	3129,494	200287,6
16	Perairan Kepulauan Seribu	3129,494	200287,6
17	Laut Jawa	10562,05	675970,7
18	Laut Bali	3129,494	200287,6

19	Laut Flores	3129,494	391186,8
20	Selat Makasar bagian Selatan	391,1868	200287,6
21	Perairan selatan Sulawesi	3129,494	200287,6
22	Laut Maluku	25035,96	859437,3
23	Laut Buru - Laut Seram	10562,05	520669,6
24	Laut Sulawesi	25035,96	764036,6
25	Perairan Kep. Sangihe Talaud	84496,35	1320255
26	Laut Halmahera	25035,96	764036,6
27	Perairan utara Papua	25035,96	764036,6
28	Laut Banda	48898,35	764036,6
29	Perairan Kepulauan Aru	3129,494	675970,7
30	Laut Arafuru	200287,6	3129494

Daya yang dapat dibangkitkan dari energi gelombang laut daerah perairan pantai di Indonesia dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$P_W = \frac{E_W}{T}$$

$$P_W = \frac{\frac{1}{4} \cdot w \cdot \rho \cdot g \cdot a^2 \cdot \lambda}{T}$$

Contoh perhitungan pada perairan utara Aceh kondisi A:

$$P_W = \frac{E_W}{T}$$

$$P_W = \frac{3129,494}{1,59} = 1968,235 \text{ Watt}$$

Tabel 5. Hasil perhitungan daya yang dapat dihasilkan[15]

No	Lokasi	Potensi Energi gelombang laut (J)		Periode Gelombang (s)		Daya (Watt)	
		min	maks	min	maks	min	maks
1	Perairan utara Aceh	3129,494	764036,6	1,59	3,97	1968,235	480526,2
2	Perairan barat Aceh hingga	10562,05	859437,3	1,94	4,05	6642,796	540526,6

	Sumatera Utara						
3	Perairan barat Sumatera Barat	25035,96	1073416	2,25	4,2	15745,88	675104,7
4	Perairan barat Bengkulu hingga Lampung	25035,96	2683150	2,25	4,89	15745,88	1687516
5	Selat Sunda	10562,05	1921901	1,94	4,63	6642,796	1208742
6	Perairan selatan Banten hingga Jawa Barat	48898,35	3129494	2,51	5,02	30753,68	1968235
7	Perairan selatan Jawa Tengah	48898,35	3129494	2,51	5,02	30753,68	1968235
8	Perairan selatan Jatim	48898,35	3129494	2,51	5,02	30753,68	1968235
9	Perairan selatan Bali hingga NTB	25035,96	1320255	2,25	4,35	15745,88	830349,3
10	Laut Sawu	25035,96	1073416	2,25	4,2	15745,88	675104,7
11	Laut Timor	25035,96	859437,3	2,25	4,05	15745,88	540526,6
12	Selat Malaka	391,1868	25035,95	1,12	2,25	246,0294	15745,88
13	Laut Natuna	25035,96	764036,6	2,25	3,97	15745,88	480526,2
14	Selat Karimata	3129,494	200287,6	1,59	3,18	1968,235	125967,1
15	Perairan selatan Kalimantan	3129,494	200287,6	1,59	3,18	1968,235	125967,1
16	Perairan Kepulauan Seribu	3129,494	200287,6	1,59	3,18	1968,235	125967,1
17	Laut Jawa	10562,05	675970,7	1,94	3,89	6642,796	425138,8
18	Laut Bali	3129,494	200287,6	1,59	3,18	1968,235	125967,1
19	Laut Flores	3129,494	391186,8	1,59	3,55	1968,235	246029,4
20	Selat Makasar bagian Selatan	391,1868	200287,6	1,12	3,18	246,0294	125967,1
21	Perairan selatan Sulawesi	3129,494	200287,6	1,59	3,18	1968,235	125967,1
22	Laut Maluku	25035,96	859437,3	2,25	4,05	15745,88	540526,6
23	Laut Buru - Laut Seram	10562,05	520669,6	1,94	3,72	6642,796	327465,1
24	Laut Sulawesi	25035,96	764036,6	2,25	3,97	15745,88	480526,2
25	Perairan Kep. Sangihe Talaud	84496,35	1320255	2,75	4,35	53142,36	830349,3
26	Laut Halmahera	25035,96	764036,6	2,25	3,97	15745,88	480526,2
27	Perairan utara Papua	25035,96	764036,6	2,25	3,97	15745,88	480526,2
28	Laut Banda	48898,35	764036,6	2,51	3,97	30753,68	480526,2
29	Perairan Kepulauan Aru	3129,494	675970,7	1,59	3,89	1968,235	425138,8
30	Laut Arafuru	200287,6	3129494	3,18	5,02	125967	1968235

Dari hasil perhitungan di atas, dapat dilihat bahwa, pada kondisi minimum daya terkecil yang dapat dihasilkan adalah sebesar 246,0294 Watt, yaitu di daerah perairan Selat Malaka dan Selat Makasar bagian selatan. Sementara daya terbesar yang dapat dihasilkan yaitu sebesar 125967 Watt yaitu di wilayah perairan laut Arafuru. Pada kondisi maksimum, daya terkecil yang dapat dihasilkan adalah sebesar 15745,88 Watt di Selat Malaka. Sedangkan daya terbesar yang dapat dihasilkan sebesar 1968235 Watt di daerah Perairan selatan Banten hingga Jawa Barat, Perairan selatan Jawa Tengah, Perairan selatan Jatim dan di wilayah perairan Laut Arafuru.

Dari hasil perhitungan di atas, dengan mengabaikan rugi-rugi daya yang terjadi dan efisiensi sebesar 11,917% maka daya terkecil yang dapat dibangkitkan oleh sistem ini yang diterapkan di Selat Malaka untuk keadaan minimum adalah sebesar:

$$246,0924 \text{ W} \times 11,917\% = 29,32 \text{ W}.$$

dan dengan daya maksimum yang dapat dihasilkan kurang lebih sebesar:

$$15745,88 \text{ W} \times 11,917\% = 1876,437 \text{ W}.$$

$$P_{floating\ rotor} = 1876,437 \text{ W} \times 2 \text{ buah}$$

$$P_{floating\ rotor} = 3752,8754 \text{ W}.$$

C. Perhitungan Pemanfaatan *Solar Cell*

Untuk Pemanfaatan *Solar Cell* di perahu nelayan, ukuran *Solar Cell* yang paling banyak dijual di pasaran berukuran 100 wp, 150 wp dan 200 wp. Dalam konsep karya tulis ini yang dipakai adalah yang berukuran 100 wp karena lebih ekonomis. Daya yang didapatkan dari *solar cell* adalah:

$$P_{solarcell} = 100 \text{ wp} \times 4 \text{ buah} \times 6 \text{ Jam penyinaran}$$

$$P_{solarcell} = 2400 \text{ W}$$

Penggabungan tiga energi tersebut jika dijumlahkan:

$$2400 (\text{solar cell}) + 3752 (\text{floating rotor}) + 1237 (\text{turbin angin}) = 6.789 \text{ W}.$$

Jadi, daya yang dihasilkan dari pemanfaatan tenaga surya, angin dan gelombang laut pada alat ini adalah sebesar 7.389 W.

D. Berdasarkan Hasil Wawancara dan Data yang Telah Didapatkan.

Nelayan sehari menghabiskan sekitar 8-15 liter bensol dengan harga sekitar 6000 rupiah dengan estimasi waktu perjalanan sekitar 5 jam menggunakan motor konvensional, dapat dihitung berikut:

$$15 \times 6000 = 90.000/\text{hari}$$

dalam seminggu rata-rata nelayan melaut sebanyak 5 hari

$$90.000 \times 5 = 450.000/\text{minggu}$$

$$450.000 \times 48 \text{ minggu} = 21.600.000 \text{ rupiah/tahun}$$

jarak tempuh yang dihasilkan nelayan dengan perahu konvensional

$$5 \text{ jam} \times 40 \text{ km/jam} = 200 \text{ km}$$

Sedangkan alat ini dapat menghasilkan energi

$$1800 (\text{solar cell}) + 3752 (\text{floating rotor}) + 1237 (\text{turbin angin}) = 6.789 \text{ W.}$$

Jadi, daya yang dihasilkan dari alat ini adalah sebesar 6.789 W.

bila digunakan mengecas aki 12v/65AH maka:

$$6789 : (12 \times 65) = 8 \text{ buah aki}$$

Hasil uji coba penggunaan motor bldc 10 KW dengan 4 buah aki menghasilkan 144 km. Jadi, bila dengan 8 buah aki dapat menghasilkan sekitar 288 km.

Artinya dengan menggunakan perahu electric dengan aki hasil pemanfaatan energi surya, angin dan gelombang laut maka nelayan bisa mendapatkan jarak tempuh lebih jauh dan jika jarak tempuh lebih luas maka nelayan berpeluang menangkap lebih banyak ikan.

Untuk produksi alat ini hanya sekitar 10 juta dengan estimasi pakai 3 tahun dan biaya perawatan 5 juta/tahun

$$21.600.000 \times 3 = 65.100.000 - 25.000.000 = 39.900.000 : 3 = \text{Rp } 13.300.000$$

Artinya dalam setahun nelayan dapat menghemat hingga Rp 13.300.000.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan energi surya, angin dan gelombang laut ini memiliki potensi relatif besar untuk dijadikan sebagai energi alternatif dalam mengatasi krisis bahan bakar minyak (BBM) pada perahu nelayan.



Gambar 6. Prototype alat



Gambar 7. Hasil uji coba alat pada tampilan voltmeter

Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah pemanfaatan energi surya, angin dan gelombang laut pada sebuah alat yang berupa pemasangan solar untuk menyerap energi panas matahari, serangkaian pelampung-pelampung kecil pada bagian penyeimbang alat sebagai penggerak *rotor* utama pada *Floating Rotor* berguna untuk memanfaatkan energi gelombang laut dan turbin angin VAWT tipe *Squirrel Cage Darieus* yang berada di atas alat digunakan untuk memanfaatkan energi angin. Rancangan energi listrik yang dihasilkan tersebut dapat dimanfaatkan sebagai tenaga penggerak kapal maupun unit penerangan permukiman masyarakat pesisir. Relevansi pemanfaatan energi surya, angin dan gelombang laut dalam usaha mengatasi krisis

bahan bakar minyak ialah memiliki potensi relatif besar untuk dijadikan sebagai energi alternatif dalam mengatasi krisis bahan bakar minyak (BBM) pada perahu nelayan tradisional.

Daftar Pustaka

- Hall, C. (2016). Eating the elephant: Making a start with industry 4.0. *Work. Manag.*, vol. 69, no. 8, pp. 40–41.
- Wang, D. (2018). Building Value in a World of Technological Change: Data Analytics and Industry 4.0. *IEEE Eng. Manag. Rev.*, vol. 46, no. 1, pp. 32–33.
- Moerdijat, L. (2019). Landasan kontinen Indonesia. Retrieved from <http://lestarimoerdijat.com/2019/10/31/>. [Accessed: 21-Mar-2020].
- Imron, M. (2003). Kemiskinan dalam masyarakat nelayan. *J. Masy. dan Budaya*, vol. 5, no. 1, pp. 63–82.
- Menggala, S. R. (2015). Kemiskinan masyarakat nelayan Indonesia. Retrieved from <https://www.slideshare.net/Sidiranamenggala/>. [Accessed: 21-Mar-2020].
- Rismanto. (2002). Studi pendektsian dan karakteristik suara udang windu. Institut Pertanian Bogor.
- Kementerian ESDM. (2011). Potensi energi laut nasional telah diratifikasi. Retrieved from www.esdm.go.id. [Accessed: 22-Mar-2020].
- Kementerian ESDM. (2007). Blueprint pengelolaan energi nasional 2006-2025. Retrieved from www.esdm.go.id. [Accessed: 21-Mar-2020].
- Wang, X., & Wang, Z. M., Eds. (2014). *High-efficiency solar cells: Physics, materials, and devices*. Switzerland: Springer International Publishing.
- Aryanto, F., Mara, I. M., & Nuarsa, M. (2013). Pengaruh kecepatan angin dan variasi jumlah sudut terhadap unjuk kerja turbin angin poros horizontal. *Din. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 1, pp. 50–59.
- Pecher, A., Kofoed, J. P., & Larsen, T. (2012). Design specifications for the hanstholm WEPTOS wave energy converter. *Energies*, vol. 5, no. 4, pp. 1001–1017.
- Aryza, S., Ehkan, P., Khairunizam, W., & Lubis, Z. (2019). Implementasi teknologi greenpeace di pembangkit energy solar cell pada daerah minim cahaya. in *SEMNASTEK UISU 2019*, pp. 2–5.
- Sari, B. K. (2017). Desain pembelajaran model ADDIE dan implementasinya dengan Teknik Jigsaw. in *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan*, pp. 94– 96, p.87–102.
- Huda, S., & Arief, I. S. (2014). Analisa Bentuk Profile dan Jumlah Blade Vertical Axis Wind Turbine terhadap Putaran Rotor untuk Menghasilkan Energi Listrik. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, vol. 3, no. 1.
- Utami, S. R. (2010). Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Dengan Menggunakan Sistem Oscilating Water Column (OWC) Di Tiga Puluh Wilayah Kelautan Indonesia, Jakarta, Universitas Indonesia.

Sadik, J. (2012). Analisis Nilai Tukar Nelayan Kabupaten Sumenep Tahun 2012, Bogor, IPB Press.