

## PEMANFAATAN TENAGA ANGIN SEBAGAI PELAPIS ENERGI SURYA PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HIBRID DI PULAU WANGI-WANGI

**S. W. Widyanto, S. Wisnugroho, M. Agus**

Loka Perencanaan Teknologi Kelautan, Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan,  
Kementerian Kelautan dan Perikanan,  
Jl. Ir Soekarno No. 3 Patuno, Wangi-wangi, Wakatobi, Sulawesi Tenggara  
abuyumna26@gmail.com

### Abstrak

Energi angin sebagai salah satu energi yang terbarukan memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai energi alternatif bagi energi dari bahan bakar fosil. Potensi energi alternatif terbarukan lainnya yang juga diklaim memiliki kans besar terutama di daerah pesisir dan pulau-pulau kecil adalah tenaga surya. Keduanya disebut Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (PLTH) jika diintegrasikan kinerjanya. Masalah klasik dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah tidak kontinyunya intensitas radiasi matahari yang bisa dimanfaatkan, terutama saat mendung, hujan, dan malam hari. Pelapis energi yang dimungkinkan bisa menutupi kelemahan ini adalah Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), namun energi ini juga memiliki masalah dari sisi distribusi kecepatannya yang relatif rendah dan besar kecepatannya fluktuatif. Tujuan dilakukannya penelitian ini difokuskan untuk mengetahui kecepatan angin di Pulau Wangi-wangi, Wakatobi, Sulawesi Tenggara, khususnya saat intensitas radiasi matahari menurun, sehingga bisa diketahui apakah pemanfaatan tenaga angin sebagai pelapis energi surya merupakan langkah yang efektif atau tidak. Metode utama yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan teknik non statistik menggunakan grafik. Hasil pengolahan data mengungkap bahwa rata-rata kecepatan angin maksimal sebesar 2,847 m/s, sehingga potensi daya listrik maksimal sebesar 37,160 Watt. Rata-rata kecepatan angin tertinggi saat malam hari sebesar 2,877 m/s dan kecepatan angin rata-rata setahun saat hujan sebesar 2,405 m/s. Kesimpulannya adalah rata-rata kecepatan angin sepanjang hari pada tahun 2017 di kawasan ini tidak bisa mencapai standar minimal kecepatan angin yang dapat membangkitkan listrik (minimal 3,3 m/s), sehingga pemanfaatan energi angin sebagai pelapis energi surya pada PLTH kurang efektif, kecuali jika digunakan turbin angin yang bisa bekerja dengan kecepatan angin rendah.

**Kata kunci:** energi angin, intensitas radiasi matahari, kecepatan angin, tenaga surya

### Abstract

Wind energy as a renewable energy had the potential to be developed as an alternative energy for energy from fossil fuels. Other potential renewable alternative energy which is also claimed to have a large chance, especially coastal areas and small islands, is solar power. Both were called Hybrid Power Plants if their performance is integrated. The classic problem of Solar Power Plants was the absence of solar radiation intensity that could be exploited, especially during cloudy, rain, and night. Possible energy coatings could cover this weakness is the Wind Energy Power Plants, but this energy also had problems from the distribution side of the relatively low speed and the speed value was fluctuative. The purpose of this research was to know wind speed at Wangi-Wangi Island, Wakatobi, Southeast Sulawesi, especially when the intensity of solar radiation decreases, so it could be known whether the use of wind power as a solar coating is an effective step or not. The main method used in this study used non-statistical techniques using graphics. Data processing results reveal that the average

maximum wind speed is 2.847 m/s, so the maximum electrical power potential is 37,160 *Watts*. The average night-time wind speed is 2.877 m/s and the average annual wind speed when it rains is 2.405 m/s. The conclusion is that the average wind speed throughout the day in 2017 in this region cannot reach the minimum standard of wind speed that can generate electricity (minimum 3.3 m/s), so the utilization of wind energy as a coating of solar energy in a Hybrid Power Plant is less effective, except when a wind turbine is used that can work with low wind speeds.

**Keywords :** wind energy, intensity of solar radiation, wind speed, solar power

## PENDAHULUAN

Energi angin sebagai salah satu energi yang terbarukan memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai energi alternatif bagi energi dari bahan bakar fosil. Berdasarkan survei Lembaga Antariksa dan Penerbangan Nasional (Lapan) di dua puluh daerah di Indonesia, kecepatan rata-rata angin di Indonesia per tahun sekitar 2 sampai 6 m/s. Beberapa daerah di Indonesia bagian timur memiliki kecepatan angin rata-rata 5 m/s (Padmika, 2017). Fenomena ini menunjukkan rendahnya distribusi kecepatan angin di Indonesia.

Kecepatan angin yang bertiup dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah gradien barometris (perbedaan tekanan udara antara dua isobar pada tiap jarak lurus 15 meridian atau 111 km). Menurut hukum Stevenson, kekuatan angin yang bertiup berbanding lurus dengan gradien barometernya, sehingga semakin besar gradien barometernya, maka semakin kuat angin yang bertiup. Faktor yang kedua yaitu relief permukaan bumi. Relief yang tidak rata menjadi penghambat bagi aliran atau tiupan angin. Di daerah perbukitan aliran angin terhambat bukit-bukit, sehingga bertiup dengan kecepatan lebih lambat dibanding di daerah dataran.

Selain dua faktor di atas, ketinggian tempat juga mempengaruhi kecepatan angin di suatu kawasan. Tiupan angin di tempat yang tinggi lebih kencang daripada tiupan angin di tempat yang rendah. Faktor berikutnya adalah letak lintang. Letak lintang berkaitan dengan posisi matahari. Di daerah lintang rendah banyak mendapatkan sinar matahari, sehingga lebih panas dibandingkan di daerah lintang tinggi. Dan sebaliknya, di daerah lintang tinggi lebih sedikit mendapatkan sinar matahari sehingga suhu udaranya pun lebih dingin dibanding daerah lintang rendah. Perbedaan panas ini menimbulkan sistem angin utama di bumi. Selain itu, atmosfer juga ikut berotasi dengan bumi.

Molekul-molekul udara bergerak ke arah timur sesuai arah rotasi bumi. Gerakan ini disebut gerakan linier. Bentuk bumi yang bulat menyebabkan kecepatan linier tertinggi berada di daerah ekuator (letak lintang rendah) dan kecepatan liniernya menurun ke arah kutub (letak lintang tinggi).

Faktor lain yang juga mempengaruhi kencangnya angin bertiup adalah panjangnya siang dan malam. Bila dirasakan, kecepatan angin pada waktu siang dan malam berbeda. Angin bertiup lebih cepat pada waktu siang hari dibanding pada saat malam hari. Panjang siang dan malam pada beberapa daerah tidak sama sehingga menyebabkan tekanan udara maksimum dan minimum berubah-ubah. Akibatnya, arah aliran udara tidak tetap atau tidak menentu (Anjani, 2009).

Faktor gradien barometris berupa perbedaan tekanan di darat dengan di laut serta relief permukaan bumi yang relatif datar merupakan faktor terbesar yang mempengaruhi kecepatan angin di daerah pesisir dan pulau-pulau kecil seperti di Pulau Wangi-wangi, Kabupaten Wakatobi. Selain itu, Kabupaten Wakatobi terletak pada lintang rendah ( $5^{\circ}15'00'' - 6^{\circ}10'00''$  Lintang Selatan) terhadap kutub bumi. Oleh karena itu, informasi yang beredar bahwa daerah pesisir dan pulau-pulau kecil memiliki potensi angin yang besar ditengarai dari ketiga faktor di atas. Potensi tersebut tentunya akan sangat bermanfaat jika diimbangi dengan kecepatan angin yang stabil dan tidak fluktuatif. Namun kenyataannya di Indonesia, selain distribusi kecepatan angin relatif rendah, besarnya kecepatan angin juga bersifat fluktuatif yakni profil kecepatan angin selalu berubah secara drastis dengan interval yang cepat. Berdasarkan dua latar belakang inilah, penulis terpanggil untuk meneliti kecepatan angin di wilayah pesisir Pulau Wangi-wangi, Kabupaten Wakatobi apakah bisa dimanfaatkan secara kontinyu,

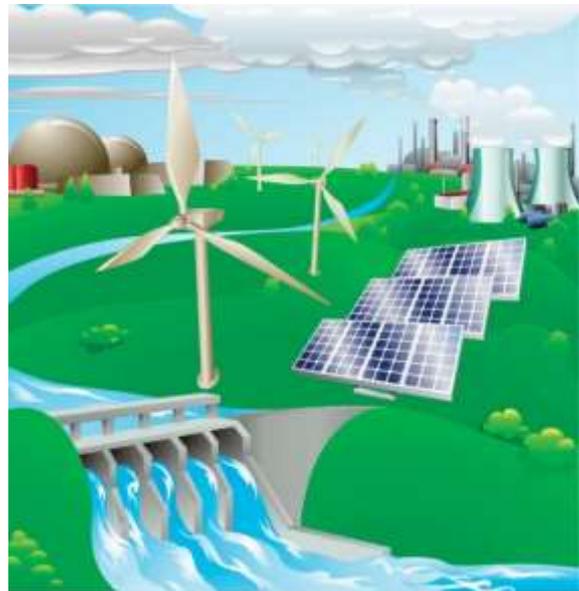
sehingga bisa menjadi alternatif pemenuhan kebutuhan listrik lembaga/instansi dan masyarakat di kawasan tersebut atau sekedar sebagai pelapis dari pembangkit listrik lain yang lebih potensial di daerah ini.

Potensi energi alternatif *renewable* yang juga diklaim memiliki kans besar di Indonesia adalah tenaga surya. Pemilihan sumber energi terbarukan ini sangat beralasan mengingat suplai energi surya dari sinar matahari yang di terima oleh permukaan bumi mencapai mencapai  $3 \times 10^{24}$  Joule per tahun. Jumlah energi sebesar itu setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di seluruh dunia saat ini. Indonesia yang merupakan daerah tropis mempunyai potensi energi matahari sangat besar dengan insolasi harian rata-rata 4,5 - 4,8 KWh/m<sup>2</sup>/hari. Melimpahnya cahaya matahari yang merata dan dapat ditangkap di seluruh kepulauan Indonesia hampir sepanjang tahun merupakan sumber energi listrik yang sangat potensial. Akan tetapi energi listrik yang dihasilkan sel surya sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari yang diterima oleh sistem (Yuliananda, 2015). Intensitasnya akan menurun jika cuaca mendung atau curah hujan tinggi bahkan tidak mendapatkan cahaya matahari sama sekali jika waktu malam mulai merambat. Fenomena ini juga disinyalir terjadi di Pulau Wangi-wangi, Kabupaten Wakatobi. Sebagai bagian dari kawasan pesisir dan pulau-pulau kecil, kelimpahan cahaya matahari di daerah ini disinyalir sangat merata dan dapat ditangkap di seluruh pulau. Namun sebagaimana kawasan pesisir lainnya, intensitasnya akan menurun seiring dengan cuaca mendung, curah hujan tinggi, dan datangnya waktu malam hari. Hal inilah yang juga menjadi salah satu latar belakang dari penelitian ini yakni sepotensial apapun tenaga surya bisa dimanfaatkan di daerah ini sebagai pembangkit listrik utama, namun untuk menutupi kelemahannya, selain dibutuhkan perhitungan yang cermat terhadap jumlah panel surya yang dipasang dan jumlah baterai sebagai penyimpan energinya, juga dibutuhkan pembangkit listrik dari energi lain sebagai *back up*.

Pembangkit listrik yang memadukan dua energi yang saling mendukung satu sama lain biasa dikenal dengan istilah Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (PLTH). PLTH didefinisikan sebagai suatu sistem pembangkit tenaga listrik

yang menggabungkan dua atau lebih pembangkit dengan sumber energi yang berbeda, umumnya digunakan untuk *isolated grid*, sehingga diperoleh sinergi yang memberikan keuntungan ekonomis maupun teknis (Iskandar, 2016).

Teknik hibrid ini akan menutupi kekurangan dari masing-masing sumber energi terbarukan dimana baterai digunakan sebagai penyimpan energi sementara, dan sebuah pengendali digunakan untuk mengoptimalkan pemakaian energi dari masing-masing sumber dan baterai, disesuaikan dengan beban dan ketersediaan energi dari sumber energi yang digunakan (Arianto, ). Konfigurasi dasar dari sistem pembangkit listrik tenaga hibrid tersebut dapat dikelompokkan menjadi tiga yaitu; sistem hibrid seri, sistem hibrid paralel, dan sistem *hybrid switched* (Iskandar, 2016).



Gambar 1. Pemanfaatan energi terbarukan untuk PLTH

Diantara faktor yang perlu dipertimbangkan guna mencari tahu unjuk kerja sistem pembangkit hibrid ini yaitu karakteristik beban pemakaian dan karakteristik pembangkitan daya, khususnya potensi energi alam yang ingin dikembangkan selain karakteristik kondisi alam itu sendiri, seperti pergantian musim, siang-malam, dan elemen-elemen lain yang berpengaruh.

Berdasarkan potensi energi terbarukan di Indonesia sebagaimana tersaji pada tabel 1 dan beberapa faktor yang telah dipaparkan dalam latar belakang penulisan makalah ini, maka

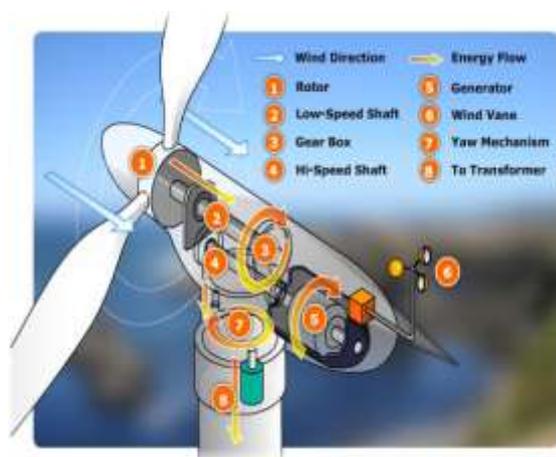
daerah pesisir dan pulau-pulau kecil semisal Pulau Wangi-wangi, Kabupaten Wakatobi lebih potensial jika dikembangkan pembangkit listrik tenaga hibrid yang mengintegrasikan energi

surya dengan energi angin. Oleh karena itu, data yang diolah dalam penelitian ini terdiri atas data intensitas radiasi matahari, data kecepatan angin, dan data lain yang berkaitan dengan hal tersebut.

Tabel 1. Potensi energi terbarukan di Indonesia

No.	Energi Terbarukan	Potensi		Kapasitas Pembangkit yang Telah Terpasang
		Nilai	Satuan	
1	Tenaga Air	75,67	GW	420.00 MW
2	Panas Bumi	27,00	GW	800.00 MW
3	Mini/Micro Hydro	458,75	MW	84.00 MW
4	Biomasa	49,81	GW	302.40 MW
5	Matahari	4,80	KWh/m <sup>2</sup> /hari	8.00 MW
6	Angin	929	GW	0.50 MW

Tenaga angin modern dihasilkan dalam bentuk listrik dengan mengubah rotasi dari pisau turbin menjadi arus listrik menggunakan generator listrik. Kincir dengan energi angin digunakan untuk memutar peralatan mekanik dalam melakukan kerja fisik, seperti memompa air atau menyalakan lampu. Daya yang dihasilkan oleh turbin angin tergantung pada diameter dari sudu. Semakin panjang diameter, maka daya yang dihasilkan semakin besar.



Gambar 2. Struktur turbin/kincir angin

Turbin angin sekarang ini banyak digunakan untuk mengakomodasi listrik masyarakat dengan menggunakan konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbarui yaitu angin. Cara kerja pembangkit listrik tenaga bayu/angin cukup sederhana. Energi angin yang memutar turbin angin, diteruskan untuk memutar rotor pada

generator di belakang bagian turbin angin, sehingga akan menghasilkan energi listrik. Energi listrik ini biasanya akan disimpan ke dalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan. Banyaknya baterai disesuaikan dengan jumlah daya yang dibutuhkan dalam instalasi listrik rumah tangga atau instansi.



Gambar 3. Prinsip kerja PLTB

Jenis - jenis turbin dibagi menjadi dua yaitu Turbin angin sumbu horizontal (TASH) dan Turbin angin sumbu vertikal (TASV). Turbin angin sumbu horizontal (TASH) memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin (baling-baling cuaca) yang sederhana, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digandengkan ke sebuah servo motor. Sebagian besar memiliki sebuah gearbox yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar. Sebuah menara menghasilkan turbulensi di belakangnya, maka turbin biasanya diarahkan melawan arah

anginnya menara. Bilah-bilah turbin dibuat kaku agar mereka tidak terdorong menuju menara oleh angin berkecepatan tinggi. Bilah-bilah itu kemudian diletakkan di depan menara pada jarak tertentu dan sedikit dimiringkan.

Turbulensi dapat menyebabkan kerusakan struktur menara, sehingga realibilitas sangat penting untuk diperhatikan. Oleh karena itu, sebagian besar turbin angin sumbu horizontal merupakan mesin *upwind* (melawan arah angin). Mesin *downwind* (searah angin) tidak memerlukan mekanisme tambahan agar tetap sejalan dengan arah angin, karena di saat angin berhembus sangat kencang, bilah-bilahnya bisa ditebuk sehingga mengurangi wilayah tiupan angin dan resintensi angin dari bilah-bilah itu.



Gambar 4. Turbin angin sumbu horizontal

Turbin angin sumbu vertikal/tegak (atau TASV) memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Generator dan *gearbox* turbin jenis ini bisa ditempatkan di dekat tanah, sehingga menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan. Desain turbin ini menyebabkan sejumlah desain menghasilkan tenaga putaran yang berdenyut. *Drag* (gaya yang menahan pergerakan) sebuah benda padat melalui fluida (zat cair atau gas) bisa saja tercipta saat kincir berputar. *Drag* sulit dipasang di atas menara, turbin sumbu tegak sering dipasang lebih dekat ke dasar tempat ia diletakkan, seperti tanah atau puncak atap sebuah bangunan.



Gambar 5. Turbin angin sumbu vertikal

Kecepatan angin lebih pelan pada ketinggian yang rendah, sehingga yang tersedia adalah energi angin yang sedikit. Aliran udara di dekat tanah dan objek yang lain mampu menciptakan aliran yang bergolak, yang bisa menyebabkan berbagai permasalahan yang berkaitan dengan getaran, diantaranya kebisingan dan *bearing wear* yang akan meningkatkan biaya pemeliharaan atau mempersingkat umur turbin angin. Tinggi puncak atap yang dipasang menara turbin kira-kira 50% dari tinggi bangunan. Ini merupakan titik optimal bagi energi angin yang maksimal dan turbulensi angin yang minimal (Rachman DR, 2017).

Energi angin merupakan energi kinetik atau energi yang disebabkan oleh kecepatan angin untuk dimanfaatkan memutar sudu-sudu kincir angin. Untuk memanfaatkan energi angin menjadi energi listrik maka langkah pertama yang harus dilakukan adalah menghitung energi angin dengan formula (Yunginger, 2015) :

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (1)$$

Dimana,

$E$  : energi kinetik (*Joule*)  
 $m$  : massa udara (*kg*)  
 $v$  : kecepatan angin (*m/s*)

Untuk mendapatkan massa udara dimisalkan suatu blok udara mempunyai penampang dengan luas  $A$  ( $m^2$ ), dan bergerak dengan kecepatan  $v$  ( $m/s$ ), maka massa udara adalah yang melewati suatu tempat adalah :

$$m = A \cdot v \cdot \rho \quad (2)$$

Dimana,

$m$  : massa udara yang mengalir ( $kg/s$ )  
 $A$  : penampang ( $m^2$ )  
 $v$  : kecepatan angin ( $m/s$ )  
 $\rho$  : kerapatan udara ( $kg/m^3$ )

Dengan persamaan (1) dan (2) dapat dihitung besar daya yang dihasilkan dari energi angin yaitu :

$$P = \frac{1}{2} \cdot A \cdot \rho \cdot v^3 \quad (3)$$

Dimana,

$P$  : daya yaitu energi per satuan waktu ( $Watt$ )  
 $A$  : luas penampang ( $m^2$ )  
 $v$  : kecepatan angin ( $m/s$ )  
 $\rho$  : kerapatan udara ( $kg/m^3$ )

Untuk keperluan praktis sering digunakan rumus aproksimasi yang sederhana, yaitu hanya dengan memperhatikan besaran kecepatan angin dan luas penampang sudu, maka didapatkan formulanya :

$$P = k \cdot A \cdot v^3 \quad (4)$$

Dimana,

$P$  : daya ( $Watt$ )  
 $k$  : konstanta ( $1,37 \times 10^{-5}$ )  
 $A$  : luas penampang ( $m^2$ )  
 $v$  : kecepatan angin ( $km/s$ )

Pada persamaan (4) besaran  $k$  dan  $A$  sebagai konstanta. Pada prinsipnya besaran  $k$  mewakili suatu faktor seperti geseran dan efisiensi sistem, yang juga bergantung dari kecepatan angin  $v$ . Luas penampang sudu  $A$  tergantung dari bentuk sudu yang sementara dapat diprediksi. Untuk keperluan estimasi sementara dan sangat kasar, dapat digunakan formula berikut :

$$P = 0,1 \cdot v^3 \quad (5)$$

Untuk mendapatkan daya efektif dari angin yang mungkin dihasilkan dari suatu kincir adalah :

$$Ea = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (6)$$

Dimana,

$Ea$  : daya efektif yang dihasilkan kincir angin ( $Watt$ )  
 $C$  : konstanta *Betz* yaitu konstanta harganya  $16/27$  ( $= 59,3\%$ ) – batas *Betz*)  
 $A$  : luas sapuan rotor (dianggap 1 m)  
 $v$  : kecepatan angin ( $m/s$ )  
 $\rho$  : kerapatan udara ( $kg/m^3$ )

Kerapatan udara  $\rho$  diformulasikan sebagai berikut :

$$\rho = \frac{P}{R \cdot T} \quad (7)$$

Dimana,

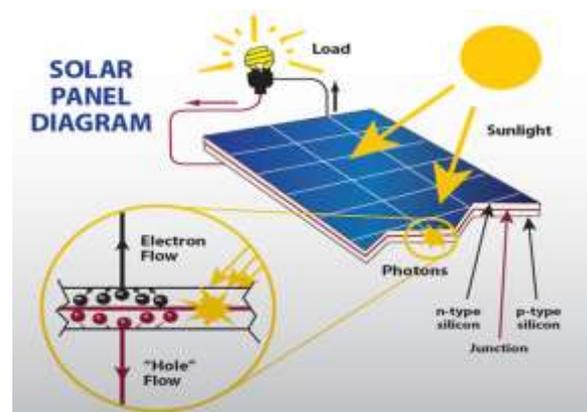
$\rho$  : kerapatan udara ( $kg/m^3$ )  
 $P$  : tekanan udara (*Pascal*, dimana  $Pa = 1 N/m^2 = 1 J/m^3 = 1 kg/ms^2$ )  
 $R$  : konstanta gas  $287,05 J/KgK$   
 $T$  : Temperatur udara (*Kelvin*)

Selanjutnya konversi energi angin menjadi energi listrik dapat menggunakan formula :

$$P_{syst}/A = 0,1454 \cdot v \quad (Watt/m^2) \quad (8)$$

Dan untuk selang waktu  $dt$  didapat :

$$P_{syst}/A = 0,1454 \cdot v \cdot dt \quad (Watt/m^2) \quad (9)$$



Gambar 6. Cara kerja sel surya

Selain energi angin, pemanfaatan energi surya di Pulau Wangi-wangi juga sangat

memungkinkan, bahkan di Loka Perencanaan Teknologi Kelautan Wakatobi telah terpasang instalasi ini sejak bangunan instansi ini didirikan. Di sebagian jalan-jalan poros telah terpasang penerangan jalan berbasis energi surya, namun karena aksi vandalisme masyarakat setempat, saat ini keberadaannya telah sirna.

Prinsip kerja sebuah sel surya dalam perannya untuk menghasilkan listrik dari tenaga surya sebenarnya amat sederhana. Konversi energi matahari menjadi listrik berlangsung pada perangkat semikonduktor yang disebut sel surya. Sel surya adalah unit yang memberikan sejumlah tenaga listrik dalam bentuk tegangan dan arus. Ketika sambungan semikonduktor terkena cahaya matahari, elektron mendapat energi dari cahaya matahari untuk melepaskan dirinya dari semikonduktor N, daerah deplesi, maupun semikonduktor P. Terlepasnya elektron ini meninggalkan *hole* pada daerah yang ditinggalkan oleh elektron. Peristiwa ini disebut fotogenerasi elektron-hole (*electron-hole photogeneration*) yakni terbentuknya pasangan elektron dan *hole* akibat cahaya matahari.

Cahaya matahari dengan panjang gelombang ( $\lambda$ ) yang berbeda menyebabkan fotogenerasi terjadi pada bagian sambungan PN yang berbeda pula. Spektrum merah cahaya matahari yang memiliki panjang gelombang lebih panjang mampu menembus daerah deplesi hingga terserap di semikonduktor P yang menghasilkan proses fotogenerasi pada bagian tersebut. Spektrum biru dengan panjang gelombang yang jauh lebih pendek hanya terserap di daerah semikonduktor N. Apabila kabel dihubungkan pada kedua ujung semikonduktor, maka elektron akan mengalir melalui kabel. Pada Gambar 6 diperlihatkan jika kabel dihubungkan dengan sebuah lampu kecil maka lampu tersebut menyala karena terdapat aliran arus listrik yang timbul akibat pergerakan elektron (Ilyas, 2017).

Pengembangan pemanfaatan kedua sumber daya energi terbarukan ini bukan berarti terbebas dari segala kendala. Kendala yang menghambat pengembangan energi terbarukan bagi produksi energi listrik, seperti biaya investasi pembangunan yang tinggi menimbulkan masalah finansial pada penyediaan modal awal dan kontinuitas penyediaan energi listrik rendah, karena sumber daya energinya sangat bergantung

pada kondisi alam yang perubahannya tidak menentu (Rachman, 2017).

Masalah yang umumnya muncul pada pembangkit listrik energi surya setelah beroperasi adalah kurangnya pasokan daya untuk menyuplai beban karena intensitas penyinaran matahari yang menurun akibat mendung atau hujan berhari-hari pada siang hari dan tidak berfungsinya panel surya menyerap energi pada waktu malam hari.

Pemecahan yang mungkin bagi permasalahan ini adalah diintegrasikannya PLTS dengan pembangkit listrik energi terbarukan lain yang memiliki kecenderungan karakteristik berbeda dari sisi pada saat mendung, hujan, dan malam justru potensinya meningkat. Diantara potensi energi yang memiliki karakteristik demikian adalah energi angin. Hal ini dikarenakan pada saat mendung atau hujan, kecepatan angin cenderung meningkat. Begitu pula saat malam hari, meskipun kecepatan angin tidak terlalu besar, namun setidaknya energi angin tidak hilang sama sekali. Tidak sebagaimana energi surya yang total berhenti tatkala malam hari. Apalagi di kawasan pesisir yang selalu terjadi sikulus angin laut dan angin darat.

Permasalahan yang mungkin muncul selanjutnya adalah sebagaimana telah disebutkan dalam latar belakang yakni kecepatan angin di Indonesia rata-rata kelas kecil hingga menengah. Sementara dalam beberapa literatur dijelaskan bahwa kecepatan angin yang dapat membangkitkan listrik hanyalah kecepatan angin dengan nilai minimal 3.3 m/s. Namun permasalahan tersebut akan bisa diatasi dengan memanfaatkan beberapa turbin angin yang diklaim bisa membangkitkan listrik meski kecepatan anginnya kurang dari 3 m/s atau dengan rekayasa prinsip rangkaian listrik sebagaimana juga dijelaskan dalam beberapa literatur yang lain.

Berdasarkan beberapa uraian di atas, maka dirumuskanlah tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui kecepatan angin pada saat intensitas radiasi matahari menurun baik saat mendung, hujan, atau malam hari di Pulau Wangi-wangi, Kabupaten Wakatobi, Provinsi Sulawesi Tenggara, sehingga bisa diketahui apakah pemanfaatan tenaga angin sebagai pelapis energi surya merupakan langkah yang tepat atau

hanya sekedar langkah alternatif yang butuh pengembangan lanjutan secara intensif.

## METODE

Data dikumpulkan melalui eksplorasi makalah, jurnal, paper, dan data *online* di internet dan di lembaga/instansi penyedia data layanan masyarakat. Sumber data berasal dari situs Badan Meteorologi dan Geofisika serta Data Cuaca Bandara Matahora Kabupaten Wakatobi, dan Data Turbin Angin Loka Perekayasaan Teknologi Kelautan Wakatobi. Metode utama yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan teknik non statistik menggunakan grafik.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pulau Wangi-wangi, Kabupaten Wakatobi, Provinsi Sulawesi Tenggara merupakan pulau kecil di kawasan pesisir pantai. Kawasan pesisir umumnya memiliki potensi sumber daya terbarukan berupa kecepatan angin yang besar, namun hal ini perlu dibuktikan dengan data yang valid. Berdasarkan pengukuran data cuaca Bandara Matahora Kabupaten Wakatobi didapatkan data rata-rata kecepatan angin bulanan sebagai berikut :



Gambar 7. Grafik rata-rata kecepatan angin bulanan di Pulau Wangi-wangi tahun 2017

Berdasarkan data kecepatan angin yang disajikan pada grafik pada gambar 7 dan pengambilan sampel diameter turbin angin yang ada di Loka Perekayasaan Teknologi Kelautan Wakatobi seperti yang tersaji pada gambar 8, maka dapat dihitung potensi daya yang dapat dibangkitkan oleh kecepatan angin. Sebagai contoh, kecepatan angin pada bulan Januari sebesar 2,361 m/s jika dihitung menggunakan persamaan (4), maka didapatkan besar potensi dayanya sebagai berikut,

$$P = \frac{1}{2} \cdot A \cdot \rho_a = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (1,83)^2 \cdot 1,225 \cdot (2,361)^3 = 21,188 \text{ Watt}$$



Gambar 8. Turbin angin LPTK

Sehingga dalam satu tahun potensi daya yang dihasilkan adalah seperti pada tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Potensi daya dari kecepatan angin di Pulau Wangi-wangi

Bulan	Daya yang dihasilkan (Watt)
Januari	21,188
Februari	25,127
Maret	10,249
April	6,016
Mei	28,671
Juni	37,160
Juli	28,455

Agustus	35,153
September	22,380
Oktober	11,698
November	14,608
Desember	29,790

Namun demikian, tidak semua tenaga ini dapat diambil karena ada aliran udara yang melalui kincir (hanya dinding tegak lurus arah angin yang dapat mengambil 100% energi aliran angin). Oleh karena itu, daya efektif dari angin yang mungkin dihasilkan tanpa memperhitungkan efisiensi generator (80%) dan efisiensi gearbox (95%) dapat dihitung. Sebagai contoh, kecepatan angin pada bulan Januari sebesar 2,361 m/s jika dihitung menggunakan persamaan (7), maka didapatkan besar daya efektifnya sebagai berikut,

$$Ea = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

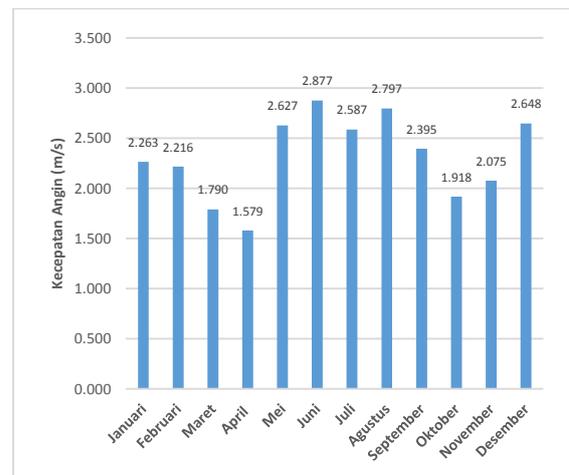
$$= \frac{1}{2} \cdot 0,59 \cdot 1,225 \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (1,83)^2 \cdot (2,361)^3 = 12,501 \text{ Watt}$$



Gambar 9. Grafik daya efektif yang dihasilkan di Pulau Wangi-wangi

Guna mengetahui kecepatan angin saat intensitas cahaya matahari menurun hingga tidak ada sama sekali, dilakukanlah pemilahan data kecepatan angin pada data cuaca Bandara Matahora Kabupaten Wakatobi pada waktu malam hari (mulai pukul 18.00 – 05.00 WITA)

Pemilahan data kecepatan angin saat turun hujan juga dilakukan untuk mengetahui nilai besaran tersebut saat intensitas radiasi matahari turun akibat terjadinya hujan.



Gambar 10. Grafik rata-rata kecepatan angin pada malam hari di Pulau Wangi-wangi

Hasil dari pemilahan data tersebut, didapatkan kecepatan angin rata-rata setahun saat hujan sebesar 2,405 m/s dengan nilai minimal kecepatan angin sebesar 0,514 m/s dan kecepatan angin tertinggi sebesar 6,167 dari curah hujan mulai 0,1 mm sampai 48,5 mm. Data lengkapnya disajikan pada tabel 3 berikut ini :

Tabel 3. Kecepatan angin saat hujan

Bulan	Curah Hujan Minimal (mm)	Curah Hujan Maksimal (mm)	Curah Hujan Rata-rata (mm)	Kecepatan Angin Minimal (m/s)	Kecepatan Angin Maksimal (m/s)	Kecepatan Angin Rata-rata (m/s)
Januari	0,1	14,7	4,083	1,542	3,597	2,275

Februari	0,1	48,5	4,024	0,514	6,167	2,720
Maret	0,1	0,6	0,205	1,028	2,569	1,378
April	0,1	0,6	0,236	1,028	2,056	1,412
Mei	0,1	33,1	4,891	2,056	3,597	2,869
September	0,1	25,6	2,738	1,542	3,597	2,307
Oktober	0,1	8,6	0,788	1,542	3,597	1,939
November	0,1	40	2,082	1,542	3,597	2,427
Desember	0,1	9,8	3,258	1,028	4,625	2,724

Berdasarkan data-data yang telah disebutkan di atas, didapatkan kenyataan bahwa permasalahan kecepatan angin yang umum terjadi di wilayah Indonesia, pun terjadi di Pulau Wangi-wangi, Kabupaten Wakatobi, Sulawesi Tenggara. Permasalahannya berkisar pada distribusi kecepatan angin yang relatif kecil (di bawah angka standar kecepatan angin minimal bisa membangkitkan listrik) dan nilai kecepatannya yang fluktuatif. Rata-rata kecepatan angin bulanan terbesar yang dihitung selama satu tahun terjadi di bulan Juni 2017 dengan nilai hanya 2,847 m/s. Kecepatan angin sebesar itu hanya memiliki potensi daya listrik sebesar 37,160 *Watt* jika memanfaatkan turbin angin yang berdiameter 1,83 meter. Dan jika memperhitungkan efektivitas dayanya, hanya didapatkan 21,924 *Watt*. Itupun belum memperhitungkan efisiensi *gearbox* dan generator. Jika diperhitungkan semua jenis efisiensinya, daya efektif maksimal yang dihasilkan bahkan hanya senilai 15,763 *Watt*. Sebuah nilai daya yang teramat kecil dengan memanfaatkan diameter turbin angin sepanjang 1,83 meter, sehingga untuk menghasilkan daya efektif senilai kisaran 110 *Watt* saja dibutuhkan diameter turbin angin hingga tujuh kali lipat dari nilai 1,83 meter yakni sepanjang 12,81 meter.

Fenomena yang sama juga terjadi pada saat intensitas radiasi matahari menurun akibat mendung/hujan dan tatkala malam hari. Rata-rata kecepatan angin tertinggi saat malam hari terjadi pada bulan Juni 2017 senilai 2,877 m/s, sehingga potensi daya listrik yang dihasilkan hanya 38,344 *Watt*. Dan jika efisiensinya diperhitungkan semuanya, hanya didapatkan nilai daya efektif sebesar 17,193 *Watt*.

Adapun rata-rata kecepatan angin pada saat terjadi hujan dimana curah hujan selama tahun 2017 berkisar dari 0,1 hingga 48,5 mm (kategori normal curah hujan rendah) terjadi

pada bulan Mei 2017. Kecepatannya sebesar 2,869 m/s, sehingga potensi daya listrik yang dihasilkan sebesar 38,025 *Watt*. Dan daya efektif yang dihasilkan apabila semua kategori efisiensi diperhitungkan adalah sebesar 17,05 *Watt*.

Nilai kecepatan angin yang didapatkan baik dalam kategori berbagai kondisi maupun pada kondisi tertentu yakni saat malam hari dan tatkala mendung/hujan memiliki kisaran yang sama. Ini berarti bahwa kecepatan angin di kawasan Pulau Wangi-wangi secara rata-rata cenderung stabil pada kecepatan rendah, meski jika dilihat data harian atau data per jam, khususnya pada bulan Februari dan Desember 2017 akan didapatkan fluktuasi yang tajam dimana kecepatan angin tiba-tiba tinggi, lalu hanya berselang hitungan jam, kecepatannya kembali rendah. Namun fluktuasi semacam itu tidak terjadi dalam setiap hari pada bulan-bulan tersebut.

Setelah diketahui rata-rata kecepatan angin di Pulau Wangi-wangi tergolong kategori rendah (kurang dari 3,3 m/s), sehingga sulit untuk menghasilkan listrik kecuali dengan memanipulasi luas sapuan rotor (*A*) menjadi sangat besar, maka dibutuhkan alternatif pemecahan yang mungkin dikembangkan pada masa yang akan datang. Manipulasi kecepatan angin kecil untuk menghasilkan daya listrik yang besar kiranya perlu untuk diteliti secara intensif, sehingga pemanfaatan energi angin sebagai pelapis energi surya benar-benar bisa terwujud. Bahkan bisa jadi akan bisa menjadi sumber energi terbarukan utama yang bisa diandalkan.

Manipulasi kecepatan angin kecil sehingga menghasilkan energi besar misalnya bisa dilakukan dengan memanfaatkan sistem transmisi yang berfungsi untuk mengubah putaran rendah pada kincir angin menjadi putaran tinggi pada generator. Selain itu,

dilakukan pula penggabungan beberapa generator dengan merangkainya secara seri, sehingga jika generator diasumsikan sebagai sebuah sumber tegangan, maka penggabungan sumber tegangan secara seri akan menghasilkan tegangan yang lebih besar, tetapi arus listrik yang mengalir sama (Subandi, 2016).

Alternatif lain untuk mengatasi masalah kecepatan angin rendah di Pulau Wangi-wangi diantaranya dengan memanfaatkan turbin angin di pasaran yang memang telah dirancang khusus untuk kecepatan angin rendah seperti *Honeywell WindTronics Wind Turbine* yang sejatinya telah digunakan di Loka Perekayasaan Teknologi Kelautan Wakatobi sebagai pelapis energi surya pada PLTH yang dimilikinya.

*Honeywell WindTronics Wind Turbine* berdasarkan klaim pabrikannya adalah turbin angin tanpa *gear* yang hanya berukuran diameter 1,83 meter, berat 77 kg dan menghasilkan rata-rata kurang lebih 2000 kWh per tahun tergantung pada lokasi, ketinggian, dan kecepatan angin di wilayah masing-masing.

*WindTronics Wind Turbine's* menggunakan perimeter sistem daya *Blade Tip Power System (BTPS)* dan desain *multi-blade* yang unik memungkinkan sistem untuk bereaksi cepat terhadap perubahan kecepatan angin. Hal ini memastikan energi angin maksimum dapat ditangkap tanpa suara yang khas dan getaran.

*Inovasi Blade Tip Power System (BTPS)* adalah teknologi yang telah dipatenkan. Turbin menggunakan sistem magnet dan *stators* di sekitar lingkaran luar untuk menangkap energi angin pada ujung *blade* dimana terdapat kecepatan terbesar, sehingga secara otomatis akan menghilangkan tahanan mekanik dan *drag*. *Blade Tip Power System* mengatasi kendala masa lalu seperti ukuran, getaran suara, dan output. Turbin Angin *Honeywell WindTronics* memiliki peningkatan operasi dengan kecepatan *start-up* serendah-rendahnya 0,2 m/s dan otomatis dimatikan pada kecepatan 17 m/s, sedangkan turbin angin konvensional memerlukan kecepatan angin minimum 3,3 m/s untuk berputar dan mulai menghasilkan listrik (<http://alpensteel.com>).

## SIMPULAN DAN SARAN

Pemanfaatan tenaga angin di Pulau Wangi-wangi sebagai pelapis energi surya

merupakan langkah yang kurang tepat, karena rata-rata kecepatan angin di wilayah tersebut relatif rendah atau tidak mencapai kecepatan angin minimal yang bisa menghasilkan listrik. Oleh karena itu, dibutuhkan pengembangan lanjutan secara intensif sebagai langkah alternatif dalam memaksimalkan potensi kecepatan angin rendah di kawasan tersebut, diantaranya dengan aplikasi sistem transmisi pada turbin, integrasi beberapa generator secara seri, dan/atau pemanfaatan turbin angin khusus aplikasi kecepatan angin rendah yang telah ada di pasaran.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada segenap jajaran pimpinan Loka Perekayasaan Teknologi Kelautan Wakatobi, Pimpinan Bandar Udara Matahora Wakatobi, dan para inspirator yang mendukung penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anjani, E. & Haryanto, T. 2009. *Geografi untuk Kelas X SMA/MA*. Jakarta : Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional.
- Arianto, R., Wijaya, A.S., Dudik, Z., Sirojuddin, M. & Arista, P. 2014. *Pemanfaatan Teknologi Pembangkit Listrik Hybrid pada Peternakan Ayam Desa Sukonolo Kabupaten Malang*. Malang : Teknik Energi Listrik, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional.
- Darmawan, I. 2016. *Pembangkit Listrik Tenaga Angin Karakteristik dan Profil Angin*. Yogyakarta : UNY. Diambil dari : <https://www.slideshare.net/IlhamDarmawan2/pembangkit-listrik-karakteristik-angin>. (1 Agustus 2018)
- Donz. 2018. *Honeywell Windtronic Wind Turbine*. Bandung : Alpensteel. Diambil dari : <http://alpensteel.com/article/47-103-energi-angin-wind-turbine-wind-mill/4504-honeywell-windtronics-listrik-tenaga-angin-masa-depan.html>. (3 Agustus 2018)
- Donz. 2018. *Perbandingan Turbin Angin Tradisional VS Honeywell Windtronik*.

- Bandung : Alpensteel. Diambil dari : [http://alpensteel.com/component/virtuemart/?page=shop.product\\_details &flypage=flypage.tpl&product\\_id=407&category\\_id=63&vmcchk=1](http://alpensteel.com/component/virtuemart/?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=407&category_id=63&vmcchk=1). (3 Agustus 2018)
- Ilyas, S. & Kasim, I. 2017. Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan Reflektor Parabola. *JETri*. Vol. 14 No. 2 Februari 2017 : 67 – 80. Jakarta Barat: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Industri Universitas Trisakti
- Iskandar, A., Sunanda, W. & Gusa, R.F. 2016. *Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Microhydro PV Array (Studi Kasus Dusun Sadap Bangka Tengah)*. Jember : Jurusan Teknik elektro, fakultas Teknik, Universitas Jember.
- Juandi, A. 2018. *Indonesia jalin kerja sama energi terbarukan*. Diambil dari : <https://elshint.com/news/79580/2016/09/19/indonesia-jalin-kerja-sama-energi-terbarukan>. (3 Agustus 2018)
- Laksita. 2017. *Mungkinkah Indonesia Memanfaatkan Energi Angin?*. Diambil dari : <https://icare-indonesia.org/energi-angin-indonesia/>. (1 Agustus 2018)
- Manuputty, A., Suyarso, Budiyanto, A., Sumadiyo, Marseno, J. & Wijaya, S. 2007. *Monitoring Ekologi Wakatobi*. Jakarta : Coral Reef Rehabilitation and Management Program, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Padmika, M., Wibawa, I.M.S. & Trisnawati, N.L.P. 2017. Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Turbin Ventilator Sebagai Penggerak Generator. *Buletin Fisika*. Vol. 18 No. 2 Agustus 2017 : 68 – 73. Bali : Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Udayana.
- Permana, D.A., Wibawa, U. & Utomo, T. 2014. *Studi Analisis Pembangkit Listrik Hybrid (Diesel-Angin) Di Pulau Karimun Jawa*. Malang : Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
- Rachman DR, V. & Wati, R. 2017. *Perancangan Sistem Hibrid Pembangkit Listrik Tenaga Angin dan Pembangkit Listrik Tenaga Matahari Untuk Penerangan Lampu Jalan di Dusun Taipa Desa Soreang Kabupaten Takalar*. Makasar : Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- Subandi, A. 2016. Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan Memanfaatkan Kecepatan Angin Rendah. *Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri (Seniati) 2016*. Malang : Institut Teknologi Nasional.
- Yuliananda, S., Sarya, G. & Hastijanti, R.A.R. 2015. Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya. *Jurnal Pengabdian LPPM*. Vol. 01 No. 02 Nopember 2015 : 193 – 202. Surabaya : Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945.
- Yunginger, R. & Sune, N. N. 2015. *Analisis Energi Angin Sebagai Energi Alternatif Pembangkit Listrik Di Kota Di Gorontalo*. Gorontalo : Universitas Negeri Gorontalo.
- High Rise Facilities. 2017. *Inside High-Rise Facilities: Building-Integrated Photo voltaics*. Diambil dari : <http://highrisefacilities.com/inside-high-rise-facilities-building-integrated-photovoltaics/> (9 Agustus 2018)