

**KAJIAN POTENSI ENERGI ANGIN
DI WILAYAH SULAWESI DAN MALUKU**
STUDY OF WIND ENERGY POTENCY IN SULAWESI AND MALUKU

M. Najib Habibie, Achmad Sasmito, Roni Kurniawan

Puslitbang BMKG, Jl. Angkasa I/No.2 Kemayoran, Jakarta 10720

E-mail : najib.habibie@bmgk.go.id

ABSTRAK

Wilayah Sulawesi dan Maluku terletak di kawasan Indonesia Timur yang terdiri dari ratusan pulau kecil yang sebagian besar berpenduduk. Seiring perkembangan zaman, kebutuhan listrik di daerah tersebut semakin meningkat. Upaya diversifikasi pembangkit listrik dengan sumber energi alternatif ramah lingkungan menjadi suatu hal yang penting. Penelitian ini mencoba untuk menentukan daerah-daerah yang memiliki potensi sumber energi angin di wilayah Sulawesi (Toli-toli, Kayuwatu, Majene, Makassar, Gorontalo, Kendari, Naha) dan Maluku (Tual, Saumlaki, Bandanaeira, Ambon, Ternate) dengan menggunakan data arah dan kecepatan angin harian periode tahun 2003-2008. Dari hasil kajian dapat direkomendasikan 4 (empat) lokasi yang potensial untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga angin yaitu di Tual, Naha, Saumlaki, dan Bandaneira dengan potensi energi angin yaitu berkisar antara 3455,8 s/d 11861,4 watt day/tahun. Dari keempat lokasi tersebut, Tual merupakan lokasi yang paling berpotensi untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga angin.

Kata kunci: potensi energi angin, arah dan kecepatan angin

ABSTRACT

Sulawesi and Maluku are located in eastern part of Indonesia, which consists of hundreds of small islands and mostly inhabited. Nowadays, electricity demanding in the area is increasing. Diversification of power generation with environmental-friendly alternative energy resources become an important thing. This study examines areas that have potential of wind energy resources in Sulawesi (Toli-toli, Kayuwatu, Majene, Makassar, Gorontalo, Kendari, Naha) and Maluku (Tual, Saumlaki, Bandanaeira, Ambon, Ternate) by using daily wind data over the period of 2003-2008. The results recommend four potentially locations for wind power electricity installation, i.e. in Tual, Naha, Saumlaki, and Bandaneira, with range of wind energy potential between 3455.8 - 11861.4 watt day per year. Tual is the most potential location.

Keywords: wind energy potential, wind speed and direction

Naskah masuk : 29 Juli 2011

Naskah diterima : 13 September 2011

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Wilayah Indonesia yang berada di sekitar daerah ekuator merupakan daerah pertemuan sirkulasi Hadley, Walker, dan lokal. Kondisi ini ditengarai memiliki potensi angin yang dapat dimanfaatkan untuk pengembangan energi terbarukan sebagai alternatif pembangkit listrik yang selama ini lebih banyak menggunakan bahan bakar minyak bumi. Wilayah Sulawesi dan Maluku terletak di kawasan Indonesia Timur yang terdiri dari ratusan pulau kecil yang sebagian besar berpenduduk. Seiring perkembangan zaman, kebutuhan listrik di daerah tersebut semakin meningkat, untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut di bangun pembangkit listrik tenaga diesel yang sangat bergantung pada bahan bakar fosil dan berpotensi menimbulkan polusi terhadap lingkungan.

Terkait dengan kebutuhan energi listrik nasional yang tidak sebanding dengan ketersediaan energi yang ada dan pemenuhan kebutuhan listrik di daerah terpencil wilayah Indonesia timur yang terkendala oleh transportasi dan keadaan cuaca, upaya diversifikasi pembangkit listrik dengan sumber energi alternatif ramah lingkungan menjadi suatu hal yang mendesak. Hal ini pun sejalan dengan komitmen Indonesia yang tertuang dalam Rencana Aksi Nasional Mitigasi Perubahan Iklim sebagai upaya mencapai target reduksi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) sebesar 26% pada tahun 2020¹⁾.

Mengingat sumber energi fosil, khususnya minyak bumi yang tergolong sumber energi yang tidak dapat terbarukan (*non renewable resources*), dan tentunya ketersediaannya akan terus berkurang, maka perlu dimanfaatkannya sumber energi alternatif yang ketersediaannya di alam selalu terjamin dan ramah lingkungan. Untuk itu perlu untuk diadakan kajian lebih mendalam untuk menentukan daerah-daerah yang memiliki potensi sumber energi angin di wilayah Indonesia khususnya bagian Timur yang mengalami kesulitan dalam sistem jaringan listrik.

1.2. Pengertian Angin

Angin adalah udara yang bergerak karena adanya perbedaan tekanan di permukaan bumi ini. Angin akan bergerak dari suatu daerah yang memiliki tekanan tinggi ke daerah yang memiliki

tekanan yang lebih rendah. Angin yang bertiup di permukaan bumi ini terjadi akibat adanya perbedaan penerimaan radiasi surya, sehingga mengakibatkan perbedaan suhu udara. Adanya perbedaan suhu tersebut menyebabkan perbedaan tekanan, akhirnya menimbulkan gerakan udara. Perubahan panas antara siang dan malam merupakan gaya gerak utama sistem angin harian, karena beda panas yang kuat antara udara di atas darat dan laut atau antara udara diatas tanah tinggi (pegunungan) dan tanah rendah (lembah)²⁾.

1.3. Potensi Tenaga Angin

Proses pemanfaatan energi angin dilakukan melalui dua tahapan konversi energi, pertama aliran angin akan menggerakkan rotor (baling-baling) yang menyebabkan rotor berputar selaras dengan angin yang bertiup, kemudian putaran dari rotor dihubungkan dengan generator, dari generator inilah dihasilkan arus listrik.

Jadi proses tahapan konversi energi bermula dari energi kinetik angin menjadi energi gerak rotor kemudian menjadi energi listrik. Besarnya energi listrik yang dihasilkan dipengaruhi oleh beberapa faktor di antaranya adalah sebagai berikut³⁾:

- 1) Rotor (kincir), rotor turbin sangat bervariasi jenisnya, diameter rotor akan berbanding lurus dengan daya listrik. Semakin besar diameter semakin besar pula listrik yang dihasilkan, dilihat dari jumlah sudut rotor (baling-baling), sudut dengan jumlah sedikit berkisar antara 3 - 6 buah lebih banyak digunakan.
- 2) Kecepatan angin, kecepatan angin akan mempengaruhi kecepatan putaran rotor yang akan menggerakkan generator.
- 3) Jenis generator, generator terbagi dalam beberapa karakteristik yang berbeda, generator yang cocok untuk Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) adalah generator yang dapat menghasilkan arus listrik pada putaran rendah.

Listrik yang dihasilkan dari Sistem Konversi Energi Angin akan bekerja optimal pada siang hari dimana angin berhembus cukup kencang dibandingkan dengan pada malam hari, sedangkan penggunaan listrik biasanya akan meningkat pada malam hari. Untuk mengantisipasi sistem ini sebaiknya tidak langsung digunakan untuk keperluan produk-produk elektronik, namun terlebih dahulu disimpan dalam satu media seperti

baterai atau aki sehingga listrik yang keluar besarnya stabil dan bisa digunakan kapan saja.

Syarat dan kondisi angin yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dengan kincir angin dan jari-jari 1 meter dapat dilihat seperti pada tabel 1 berikut⁴⁾.

Tabel 1. Tingkatan kecepatan angin 10 meter permukaan tanah⁴⁾

Tingkat Kecepatan Angin 10 meter di atas permukaan Tanah		
Kelas	Kecepatan	Kondisi Alam di Daratan
1	0,00 – 0,02	-----
2	0,3 – 1,5	Angin tenang, asap lurus ke atas
3	1,6 – 3,3	Asap bergerak mengikuti arah angin
4	3,4 – 5,4	Wajah terasa ada angin, daun2 bergoyang pelan, petunjuk arah angin bergerak
5	5,5 – 7,9	Debu jalan, kertas beterbangan, ranting pohon bergoyang
6	8,0 – 10, 7	Ranting pohon bergoyang, bendera berkibar
7	10,8 – 13,8	Ranting pohon besar bergoyang, air plampung berombak kecil
8	13,9 – 17,1	Ujung pohon melengkung, hembusan angin terasa di telinga
9	17,2 – 20,7	Dapat mematahkan ranting pohon, jalan berat melawan arah angin
10	20,8 – 24,4	Dapat mematahkan ranting pohon, rumah rubuh
11	24,5 – 28,4	Dapat merubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan
12	28,5 – 32,6	Menimbulkan kerusakan parah
13	32,7 – 36,9	Tornado

Klasifikasi angin pada kelompok 3 adalah batas minimum dan angin pada kelompok 8 adalah batas maksimum energi angin yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik.

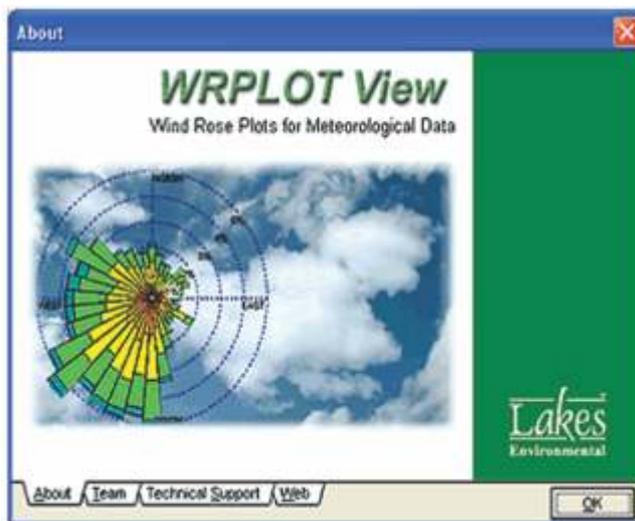
1.4. WIND ROSE View (*Wind Rose Plot for Meteorological Data*)

Untuk mengetahui distribusi angin baik arah maupun kecepatan dapat dihitung dengan menggunakan software WRPLOT View berbasis Windows yang memunculkan perhitungan wind rose dan tampilan grafis yang menggambarkan variable meteorologi untuk rentang waktu dan tanggal sesuai kebutuhan pengguna. *Wind rose* menggambarkan frekuensi kejadian angin pada tiap arah mata angin dan kelas kecepatan angin pada lokasi dan waktu tertentu.

Wind rose dapat pula digunakan untuk menampilkan grafik dari kecenderungan arah

pergerakan angin pada suatu wilayah. Karena pengaruh dari kelerengan lokal, kemungkinan efek pesisir, jangkauan alat, dan variabilitas temporal dari angin, perhitungan wind rose tidak selalu mewakili pergerakan riil angin di wilayah tersebut.

Manfaat *Wind rose* biasa digunakan dalam bidang Pelayaran dan Penerbangan (rancang bangun), Angin Musim (perubahan arah angin musiman), sebagai analisa untuk pengembangan sumber energi (PLT Angin) dan lain-lain. Gambar 1 menunjukkan tampilan awal dari software yang digunakan untuk mengolah data angin berupa wind rose dan klasifikasi kecepatan serta frekuensi angin pada suatu wilayah.



Gambar 1. Wind Rose Plot View Software⁵⁾

II. METODE PENELITIAN

2.1. Data

Data arah dan kecepatan angin periode tahun 2003-2008 di Sulawesi (12 stasiun pengamatan) meliputi Stasiun Tolitoli, Kayuwatu, Majene, Hasanudin, Gorontalo, Kendari dan Naha dan di Maluku (5 stasiun pengamatan) meliputi stasiun Tual, Saumlaki, Bandaneira, Ambon, dan Ternate.

2.2. Metodologi

- Grafik frekuensi distribusi arah dan kecepatan angin dibuat dengan menggunakan software WRPLOT View.
- Perhitungan Potensi Energi Angin secara matematis berdasarkan rumus sebagai berikut^{6,7)}:

$$P = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho \cdot A \cdot v_i^3$$

dengan:

P = potensi energi angin (*wattday/year*)

C = konstanta betz

Konstanta Betz adalah konstanta harganya 16/27 (=59.3%) - batas Betz (Betz limit, diambil dari ilmuwan Jerman Albert Betz). Angka ini menunjukkan efisiensi maksimum yang dapat dicapai oleh rotor turbin angin⁸⁾.

A = luas sapuan rotor (dianggap 1m²)

vi = kecepatan angin rata-rata harian (meter/detik)

= kerapatan udara rata-rata (kilogram/meter²)

kecepatan angin rata-rata harian di stasiun stasiun di formulasikan sebagai berikut^{9,10)}:

$V(I) = S V(j)/N$; ($V(j) > 2,5$ m/s);

dengan:

V(I) = Kecepatan angin rata-rata harian;
($I = 1, \dots, n$)

Vj = Kecepatan per pengamatan (jam)

N = Jumlah pengamatan

Kerapatan udara (ρ) diformulasikan sebagai berikut:

$\rho = p / (R.T)$

dengan:

= kerapatan udara (kilogram/meter³)

p = tekanan udara (pascal)

(Catatan : 1 pascal (Pa) " 1 N/m² " 1 J/m³ " 1 kg/(m.s²)

R = konstanta gas 287,05 J kg⁻¹ K⁻¹

T = temperatur udara (Kelvin)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan menggunakan software WRPLOT View, diperoleh hasil luaran wind rose yang menggambarkan frekuensi kejadian angin pada tiap arah mata angin dan kelas kecepatan angin pada lokasi dan waktu tertentu. Kemudian dengan memasukkan parameter-parameter tersebut ke dalam persamaan, akan menghasilkan potensi energi angin di lokasi tersebut. Dalam kajian ini diolah data dari 7 stasiun observasi di Sulawesi dan 5 stasiun observasi di Maluku. Hasilnya ditunjukkan dalam tabel 2.

Kecepatan rata-rata harian daerah yang memenuhi syarat untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin adalah Makassar, Naha, Saumlaki, Bandanaera, dan Tual seperti terlihat tabel 1. diatas. Kelima daerah tersebut

memiliki rata-rata kecepatan harian antara 2,6 - 3,1 m/s. Frekuensi jumlah hari yang memiliki kecepatan lebih dari 2,5 m/s pada kelima stasiun inipun sangat tinggi antara 52,7-81,3 % artinya jika turbin yang digunakan adalah yang bisa berputar dengan kecepatan angin 2,5 m/s maka turbin akan menghasilkan energi listrik selama 193-297 hari dalam setahun.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Potensi Energi Angin

Stasiun	Kec Rata-Rata (m/s)	Frekuensi > 2,5 m/s		P (Wattday/years)
		%	Hari	
SULAWESI				
Tolitoli	0.8532	0.1	4	376.8
Kayuwatu	1.3942	16.7	366	2073.1
Majene	1.8446	35.3	775	2867.4
Hasanudin-Makassar	2.6072	33.6	736	1883.8
Gorontalo	1.2226	5.7	125	731.2
Kendari	0.9096	0.4	10	344.5
Naha	2.6624	54	985	3455.8
MALUKU				
Tual	3.1565	81.3	1779	11861.4
Saumlaki	3.0016	73.2	1401	5797.7
Bandanaeira	2.7128	52.7	963	4727.8
Ambon	2.1662	33.3	611	2028.9
Ternate	2.1061	30.7	673	2250.6

Sebaran informasi wind rose dan besarnya energi potensi angin wilayah Sulawesi dan Maluku dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3. Dari hasil analisis menunjukkan bahwa daerah yang paling berpotensi dikembangkan masing-masing adalah Tual, Saumlaki, Bandaneira, dan Naha dengan potensi 11861.4, 5797.7, 4727.8 dan 3455.8 *wattday/year*. Frekuensi jumlah hari yang memiliki kecepatan lebih dari 2,5 m/s pada stasiun inipun sangat tinggi antara 81,3 - 52,7% artinya jika turbin yang digunakan adalah yang bisa berputar dengan kecepatan angin 2,5 m/s maka turbin akan

menghasilkan energi listrik selama 193-297 hari dalam setahun. Tual, Bandaneira, dan Saumlaki berada di Maluku Baratdaya, ketiga daerah ini merepresentasikan keadaan kepulauan yang ada disekitarnya yang berada di Laut Banda. Pulau-pulau tersebut merupakan pulau kecil yang dikelilingi laut dan umumnya memiliki topografi yang hampir rata.



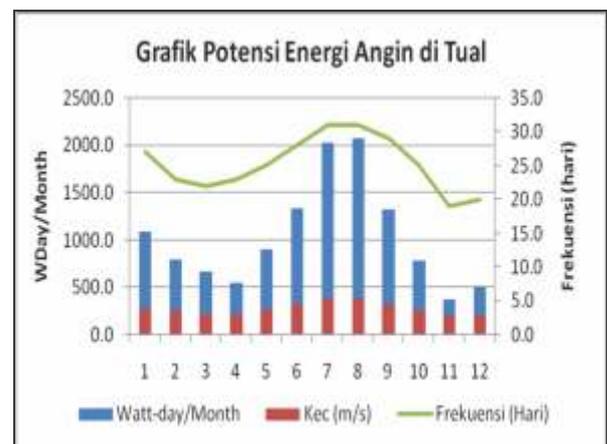
Gambar 2. Potensi Energi Angin di Wilayah Sulawesi



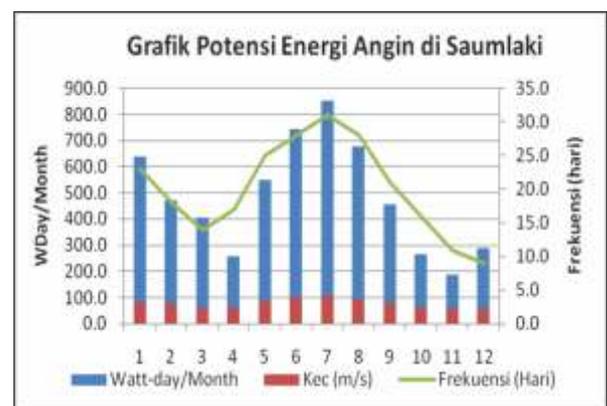
Gambar 3. Potensi Energi Angin di Wilayah Maluku

Gambar 3 menunjukkan bahwa pada daerah di sekitar Laut Banda yang meliputi Ternate, Saumlaki, Bandaneira, Ambon, dan Tual umumnya memiliki arah angin yang di pengaruhi oleh kondisi musim (angin muson). Daerah-daerah yang dikelilingi oleh perairan umumnya memiliki kecepatan angin yang tinggi dan cenderung konstan sepanjang tahun. Kondisi ini memberikan gambaran awal bahwa daerah tersebut berpotensi untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin.

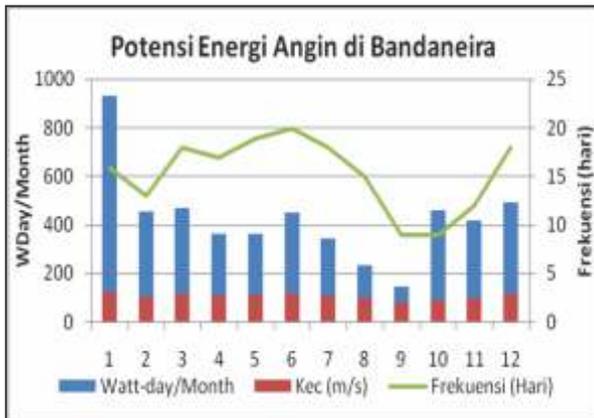
Untuk mengetahui kontinuitas pada daerah-daerah yang berpotensi sebagai pembangkit listrik tenaga angin, selanjutnya dilakukan analisa data secara bulanan. Analisa ini berfungsi untuk melihat kuantitas dan konsistensi energi listrik yang dihasilkan setiap bulan. Hasil analisa empat stasiun yaitu di stasiun Tual, Saumlaki, Bandaneira dan Naha ditunjukkan dalam Gambar 4 - 7.



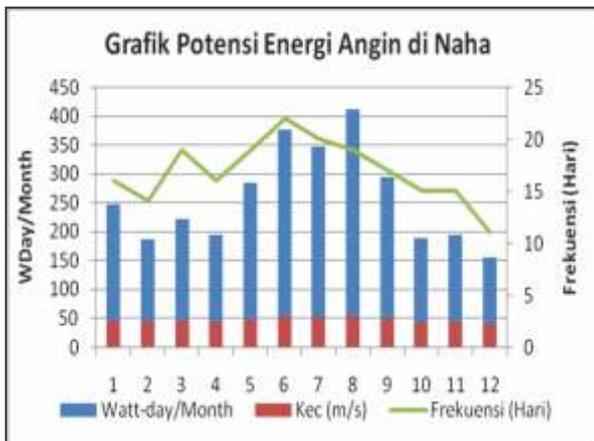
Gambar 4. Grafik Perbandingan Potensi Energi Angin, Frekuensi dan Kecepatan Angin bulanan di Tual



Gambar 5. Grafik Perbandingan Potensi Energi Angin, Frekuensi dan Kecepatan Angin bulanan di Saumlaki



Gambar 6. Grafik Perbandingan Potensi Energi Angin, Frekuensi dan Kecepatan Angin bulanan di Bandaneira



Gambar 7. Grafik Perbandingan Potensi Energi Angin, Frekuensi dan Kecepatan Angin bulanan di Naha

Hasil kajian dari 13 stasiun, didapatkan 4 daerah yang mempunyai potensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik. Keempat daerah tersebut adalah Tual, Saumlaki, Bandaneira, dan Naha. Daerah tersebut memiliki rata-rata kecepatan harian sebesar antara 2,6 - 3,1 m/s, hal ini sudah memenuhi syarat kecepatan minimal yang dibutuhkan yaitu sebesar 2,5 m/s. Potensi energi yang dihasilkan berkisar antara 3448-11861 *wattday/year*, sedangkan frekuensi hari yang memiliki kecepatan angin lebih dari 2,5 m/s berkisar antara 52-81% atau dalam setahun berkisar antara 193-297 hari. Analisa bulanan menunjukkan bahwa Tual memiliki potensi energi antara 373-1083 *wattday/month*, Saumlaki antara 185-679 *wattday/month*, Bandaneira antara 145-929 *wattday/month* dan Naha antara 154-411

wattday/month. Kecepatan rata-rata bulanan di Tual antara 2,8-5,3 m/s, Saumlaki antara 2,0-4,0 m/s, Bandaneira antara 1,98-3,03 m/s dan Naha antara 2,2-2,9 m/s. Frekuensi jumlah hari yang memiliki kecepatan angin diatas 2,5 m/s adalah antara 19-31 hari/bulan di Tual, 9-31 hari/bulan di Saumlaki, 9-20 hari/bulan di Bandaneira dan di Naha mempunyai 11-22 hari/bulan. Arah angin di daerah Tual, Saumlaki, dan Bandaneira di dominasi oleh angin Tenggara dan Timur, sedangkan di daerah Naha arah angin yang dominan adalah Barat Daya, hal ini terjadi karena daerah tersebut berada dekat ekuator dan berada pada daerah geser angin (*wind shear*). Arah angin yang dominan di keempat daerah tersebut cenderung konsisten sepanjang tahun. Pada puncak musin angin muson, umumnya di keempat daerah tersebut memiliki kecepatan angin yang lebih tinggi dibanding dengan saat musim peralihan, dan frekuensi hari yang memiliki angin dengan kecepatan lebih dari 2,5 m/s juga lebih tinggi pada musim angin muson. Dengan memperhatikan aspek-aspek diatas, serta memperhatikan kontinuitasnya, maka daerah Tual memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik dibanding dengan tiga daerah lain.

Dengan melihat pola dan karakteristik angin di keempat daerah di Maluku tersebut diketahui bahwa pola angin musiman berpengaruh besar terhadap kondisi angin yang ada, sehingga pola angin musiman (Muson Barat dan Timur) harus dijadikan pertimbangan dalam pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Angin. Angin muson ini juga mempengaruhi fluktuasi kuantitas energi yang dihasilkan.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa berdasarkan tinjauan meteorologi pada data harian selama 6 (enam) tahun (2003-2008) di Sulawesi, Maluku dapat direkomendasikan 4 (empat) lokasi yang potensial untuk pembangunan Pembangkit listrik tenaga angin yaitu di Tual, Naha, Saumlaki, dan Bandaneira dengan potensi energi angin yaitu berkisar antara 3455,8 s/d 11861,4 *watt day/tahun*. Dari keempat lokasi tersebut, Tual merupakan lokasi yang paling berpotensi untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga angin.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- 1) Peraturan Pemerintah No. 61. (2011). *Tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca*. Indonesia.
- 2) H.K, Bayong Tjasyono. (2006). *Meteorologi Indonesia Volume I*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- 3) Pembangkit Listrik Tenaga Angin. (<http://www.community.gunadarma.ac.id>). Diakses 10 Juli 2011
- 4) Pembangkit Listrik Tenaga Angin. <http://www.kincirangin.info/plta-table.php#>, diakses 19 Juli 2011.
- 5) WRPLOT View, *Wind Rose Plots for Meteorological Data*. Lakes Environmental Software. <http://www.weblakes.com/>. Diakses 19 Juli 2011.
- 6) Rizkyan, G.A. (2009). *Studi Pembangkit Listrik Tenaga Angin Laut Untuk Memenuhi Kebutuhan Penerangan Jembatan Suramadu*. Thesis. Intitit Teknologi Surabaya. Surabaya.
- 7) Soeripno. (1994). *Analisis Data Angin Desa Bulak Baru Jepara*. Oktober 1993-Juni 1994. LAPAN. Jakarta.
- 8) Daryanto Y. (2007). *Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*. Balai PPT AGG. Yogyakarta.
- 9) Herlina. (2009). *Analisis Dampak Lingkungan dan Pembangkitan Listrik Tenaga Hibrida di Pulau Sebesi Lampung Selatan*. Thesis. Universitas Indonesia. Jakarta.
- 10) Djojodiharjo H., Darwin S. (1980). *Analisa Data Angin di Beberapa Tempat Indonesia*. LAPAN. Jakarta.