

ANALISA POTENSI ENERGI ANGIN DAN ESTIMASI ENERGI OUTPUT TURBIN ANGIN DI LEBAK BANTEN

Soeripno MS, Malik Ibrochim
 Peneliti Pusterapan, LAPAN
 Email : ripnoms@lapan.go.id

ABSTRACT

Wind resources analysis for Lebak Banten has been done by using the method of simulation by data input the vector map and wind speed from observed site for one year period from March 2006 - March 2007. Simulation results by using *WASP* software with result annual mean wind speed are 5,86 m/s and wind power density are 225 W/m². The analyzed location are open area with softly obstacle and very scattered building or trees that indicated is mean value of *RIX* about 1,0%, so that the friction between wind velocity with the obstacles is relatively small. By assuming installed of WECS with 1,5MW capacities, the annual energy production of WECS is 3,263 GWH/yr.

Keywords: *WASP, Obstacle, WECS, Vector map, Wind power density*

ABSTRAK

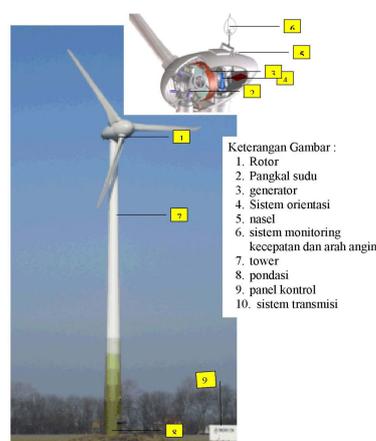
Analisa potensi energi angin untuk daerah Lebak Banten dilakukan dengan metode simulasi dengan data masukannya berupa peta *vektor* dan data kecepatan angin hasil pengukuran selama setahun periode bulan Maret 2006 - Maret 2007. Output simulasi dengan menggunakan *software WASP* menghasilkan kecepatan angin rata-rata tahunan sebesar 5,86 m/s dan rapat daya angin rata-rata tahunan sebesar 225 W/m². Lokasi yang dianalisa adalah area terbuka dengan sedikit rintangan (*obstacles*) berupa bukit-bukit kecil dan pepohonan yang tidak rapat serta tersebar, sehingga nilai hasil simulasi menggunakan peta *vektor* untuk parameter indikator *RIX* diambil nilai rata-rata sebesar 1,0%, sehingga gesekan antara laju angin dengan *obstacles* relatif kecil. Dengan mengasumsikan dipasang *SKEA* kapasitas 1,5MW di lokasi tersebut maka nilai rata-rata energi listrik yang dapat dihasilkan oleh *SKEA* tersebut dalam setahun adalah sebesar 3,263 GWh/tahun.

Kata Kunci: *WASP, Rintangan, SKEA, Peta vektor, Rapat daya angin*

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan menjadi energi mekanik atau listrik melalui suatu konversi yang dinamakan Sistem Konversi Energi Angin (*SKEA*). Komponen utama *SKEA* terdiri dari rotor dengan sudu sebagai penggerak utama, generator sebagai pengubah energi mekanik menjadi energi listrik, pengarah dan perangkat sistem kontrol elektrik, menara, pondasi seperti diperlihatkan pada Gambar 1-1.



Gambar 1-1: SKEA/Turbin Angin (J. F. Manwell, J. G. Mc Gowan, 2002)

Kecepatan angin pada suatu wilayah dipengaruhi oleh kondisi dan letak geografisnya. Karena itu, perubahan kecepatan dan arah angin pada suatu lokasi berbeda antara satu lokasi dengan yang lainnya. Untuk mengetahui variasi kecepatan dan arah angin pada suatu lokasi, diperlukan data selama 1 tahun pengukuran.

1.2 Tujuan

Menganalisa potensi energi angin secara mikro di area seluas 40,344 km² (8.200 m x 4.920 m) di wilayah Kabupaten Lebak Provinsi Banten dengan menggunakan perangkat lunak *Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP)*.

1.3 Metodologi dan Batasan Studi

Metode yang digunakan adalah melakukan simulasi dengan data masukannya berupa peta *vektor* dan data kecepatan angin. Batasan dalam kajian ini adalah data kecepatan angin hasil pengukuran selama setahun periode Maret 2006-Maret 2007 dan peta *vektor* wilayah Lebak Banten (Binuangeun). Batasan lainnya adalah parameter-parameter indikator potensi energi angin yang dianalisa yakni kecepatan angin rata-rata atau *mean speed* (m/s), rapat daya atau *power density* (W/m²), energi tahunan yang dihasilkan atau *Annual Energy Production* (GWh/yr) dengan menggunakan *SKEA* kapasitas 1,5 MW sebagai model dan indeks kekasaran atau *roughness index* (%).

2 TINJAUAN PUSTAKA

Metode statistik yang banyak digunakan untuk menganalisa potensi kecepatan angin adalah metode fungsi distribusi *Weibull* dan *Rayleigh*. Kedua metode statistik tersebut mempunyai parameter variabel yang berbeda, yang akan dibahas dalam bab berikut, dan teori-teori lainnya yang mendukung dalam melakukan analisa potensi kecepatan angin pada suatu lokasi serta

berbagai parameter dan variabel yang digunakan dalam perangkat lunak *WAsP*.

2.1 Metode Distribusi *Rayleigh*

Pada metode distribusi *Rayleigh* hanya terdapat satu parameter saja, yakni parameter skala c , untuk melihat/mengetahui besaran atau nilai distribusi, sedangkan untuk durasi kecepatan anginnya telah ditentukan nilainya yakni $k = 2$ (distribusi normal).

2.2 Metode Distribusi *Weibull*

Pada metode distribusi *Weibull* terdapat 2 parameter yakni parameter bentuk k (tanpa dimensi) dan parameter skala c . Nilai parameter k diperoleh dengan nilai yang berdasarkan data-data kecepatan angin aktual di lapangan. Untuk menentukan nilai parameter bentuk k , jika nilai tengah dan variannya telah diketahui dapat menggunakan persamaan (Dr. Gary L. Johnson, 2006):

$$k = \left(\frac{\sigma}{\bar{v}} \right)^{-1,086} \quad (2-1)$$

dengan:

σ = nilai standar deviasi kecepatan angin
 \bar{v} = nilai tengah kecepatan angin (m/det)

Jumlah atau durasi sangat dipengaruhi oleh besar kecilnya nilai parameter k , semakin besar nilai parameter k maka semakin besar durasi dan sebaliknya semakin kecil nilai parameter k maka, semakin kecil durasinya.

Sedangkan untuk mendapatkan nilai dari parameter skala c dengan menggunakan persamaan (Dr. Gary L. Johnson, 2006):

$$c = 1,12 \bar{v} \quad (1,5 \leq k \leq 4) \quad (2-2)$$

semakin kecil nilai parameter c maka, kurva akan bergeser ke arah kecepatan angin yang lebih rendah demikian juga sebaliknya.

Fungsi distribusi dari probabilitas distribusi *Weibull* $f(v)$ dapat didefinisikan

dengan persamaan (Dr. Gary L. Johnson, 2006):

$$f(v) = \left[\frac{k}{c} \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} \right] e^{-\left(\frac{v}{c} \right)^k} \quad (2-3)$$

dengan:

k = nilai parameter bentuk tanpa dimensi
 \bar{v} = nilai tengah kecepatan angin (m/det)
 e = epsilon

2.3 Pengaruh Ketinggian Terhadap Kecepatan Angin

Kecepatan angin pada suatu lokasi dipengaruhi oleh ketinggian pengukuran, yang secara umum, bahwa kecepatan angin akan bertambah dengan pertambahan ketinggian.

Ada dua model perubahan kecepatan angin secara vertikal untuk lokasi atau daerah datar. DWA (*Danish Wind Power Association*, 2003).

- Model logaritmik yang berdasarkan pada batas lapisan meknika fluida dan kajian atmosfer,
- Hukum daya yang paling banyak digunakan dalam analisa potensi kecepatan angin. Perhitungan yang banyak digunakan tersebut seperti terlihat pada persamaan:

$$v = v_{ref} \left[\frac{z}{z_{ref}} \right]^\alpha \quad (2-4)$$

dengan:

v = Kecepatan angin pada ketinggian z (m/s)

v_{ref} = Kecepatan angin pada ketinggian referensi (m/s)

z = Ketinggian referensi (m)

α = *Power law exponent* yang mana $\alpha = 0.096 \log_{10}(z_0) + 0.016(\log_{10}z_0)^2 + 0.24$

2.4 Indeks Kekasaran Permukaan (*Roughness Index*)

Satu ukuran yang objektif dari kecuraman atau ketidokrataan dari tanah lapang di sekitar suatu lokasi disebut indeks ketidokrataan (*Roughness Index* atau *RIX*) yang digambarkan

sebagai pecahan persentase tanah lapang dalam jarak tertentu dari suatu lokasi yang spesifik yang lebih curam dibanding beberapa keserongan kritis DWA (*Danish Wind Power Association*, 2003). Indeks ini diusulkan sebagai suatu ukuran yang kasar dari tingkat pemisahan alir. Klasifikasi panjang kekasaran permukaan dataran dapat dilihat pada Tabel 2-1 (Andrew Kusiak).

Tabel 2-1: PANJANG KEKASARAN PER-MUKAAN

<i>Roughness Class</i>	<i>Roughness Length (Z₀, m)</i>	<i>Energy Index (%)</i>	<i>Landscape Type</i>
0,0	0,0002	100	Water Surface
0,5	0,0024	73	Compeletely open terrain with a smooth surface e.g Concrete runway in airport, mowed grass, etc.
1,0	0,0300	52	Open agricultural area without fences and hedgerows And very scattered buildings. Only softly rounded hills.
1,5	0,0550	45	Agricultural land with some houses and 8 metre tall Sheltering hedgerows with a distance of approx. 1250m
2,0	0,1000	39	Agricultural land with many houses, shrubs and plants, or 8 metre tall sheltering hedgerows with a distance Approx 500m.

Roughness Class	Roughness Length (Z_0 , m)	Energy Index (%)	Landscape Type
2,5	0,2000	31	Agricultural land with many houses, shrubs and plants, Or 8 metre tall sheltering hedgerows with a distance Approx 250m.
3,0	0,4000	24	Villages, small towns, agricultural land with many or Tall sheltering hedgerows, forests and very rough and Uneven terrain
3,5	0,8000	18	Larger cities with tall buildings
4,0	1,6000	13	Very large cities with tall building and skyscrapers

2.5 WAsP

WAsP merupakan perangkat lunak yang dapat digunakan untuk memprediksi iklim angin, sumber potensi angin dan produksi energi yang dihasilkan oleh SKEA atau ladang angin (*windfarm*), berdasarkan pada data angin yang diukur pada suatu lokasi. Model-model yang terdapat dalam perangkat lunak ini antara lain *complex terrain flow*, perubahan *roughness* dan penempatan lokasi-lokasi *obstacles*. Komponen utama *WasP* dapat diuraikan sebagai berikut.

2.5.1 Wind atlas

Wind Atlas merupakan salah satu komponen penting yang harus dihitung terlebih dahulu dimana diperlukan data hasil pengukuran kecepatan angin di lokasi. Perhitungan mencakup ekstrapolasi pada ketinggian pengukuran kecepatan angin pada panjang kekasaran permukaan yang berbeda, frekuensi distribusi kecepatan dan arah angin termasuk densitas energi sesuai data hasil pengukuran pada lokasi tersebut.

2.5.2 Peta vektor

Analisa potensi kecepatan angin pada suatu lokasi menggunakan *WAsP* memerlukan data berupa peta digital. Batas luas wilayah yang terkandung dalam suatu peta *vektor* disebut *boundary layer* sedangkan batas luas wilayah yang dianalisa disebut *nodes*. Luas wilayah yang dibatasi oleh *nodes* biasanya lebih kecil dari luas wilayah *boundary layer*. Peta digital yang digunakan dalam *WAsP* harus yang mengandung informasi mengenai kontur, kekasaran dan/atau ketinggian dataran pada lokasi, serta *obstacles* atau *blocking* (disebut *orografi*). Format peta yang dapat digunakan adalah **.map*. Oleh karena itu, jika format peta digital dalam bentuk selain **.map* maka diperlukan konversi.

2.5.3 Sistem konversi energi angin

Dalam melakukan analisa energi yang dihasilkan di suatu lokasi diperlukan karakteristik dari turbin angin atau SKEA, yang digambarkan dalam bentuk kurva daya serta data-data lain di antaranya tinggi *hub*, diameter rotor, kecepatan angin *cut-in* dan *cut-out* dan lain lain.

2.6 Rapat Daya Angin (*Wind Power Density*)

Daya angin berbanding lurus dengan kerapatan udara, dan kecepatan angin pangkat tiga yang alirannya tidak mengalami gangguan seperti diungkap-

kan dengan persamaan berikut (J.F.Manwell, J.G.Mc Gowan, 2002):

$$P_W = \frac{1}{2} A \rho v^3 \text{ (Watt/m}^2\text{)} \quad (2-5)$$

Dengan:

P_W = Daya dalam angin, (Watt)

A = Luas arean sapuan rotor *SKEA* (m²)

ρ = Densitas udara, (=1,225 kg/m³)

v = Kecepatan angin, (m/s)

Rapat daya diklasifikasikan dalam 7 kelas seperti diperlihatkan pada Tabel 2-2. (J.F.Manwell, J.G.Mc Gowan, 2002)

Tabel 2-2: KLASIFIKASI RAPAT DAYA

Class	10 m		30 m		50 m	
	WDP W/m ²	V m/s	WDP W/m ²	V m/s	WDP W/m ²	V m/s
1	0-100	0-4,4	0-160	0-5,1	0-200	0-5,6
2	100-150	4,4-5,1	160-240	5,1-5,8	200-300	5,6-6,4
3	150-200	5,1-5,6	240-320	5,8-6,5	300-400	6,4-7,0
4	200-250	5,6-6,0	320-400	6,5-7,0	400-500	7,0-7,5
5	250-300	6,0-6,4	400-480	7,0-7,4	500-600	7,5-8,0
6	300-400	6,4-7,0	480-640	7,4-8,2	600-800	8,0-8,8
7	400-1000	7,0-9,4	640-1600	8,2-11,0	800-2000	8,8-11

Perkiraan energi listrik yang dihasilkan *SKEA* sesuai spesifikasinya dalam setahun berdasarkan potensi angin di lokasi dihitung dengan menggunakan persamaan (Stuart Romero, 2006):

$$E_E = 8,760 \times 10^{-3} \int_{v_{cut-in}}^{v_{cut-out}} P_e(v) f(v) dv \text{ (kWh/yr)} \quad (2-6)$$

dengan:

$P_e(v)$ = sesuai model kurva daya *SKEA*

$f(v)$ = distribusi *Weibull* pada lokasi

3 DATA DAN PEMBAHASAN

Parameter-parameter indikator potensi energi angin yang dihitung *software WAsP* adalah sebagai berikut:

- Kecepatan angin rata-rata (*mean speed*), m/s,
- Rapat daya (*power density*), W/m²,
- Energi tahunan yang dihasilkan (*Annual Energy Production* atau *AEP*), Wh,

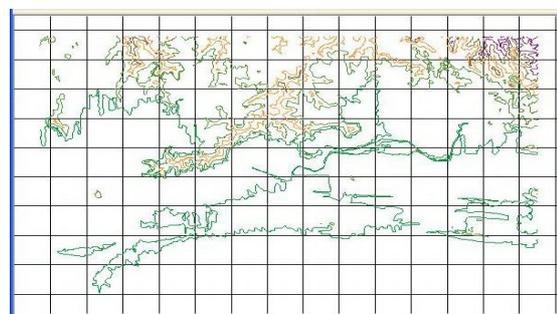
- Indeks kekasaran (*Roughness index/ RIX*), %.

3.1 Data Kecepatan Angin

Data kecepatan angin yang digunakan adalah hasil pengukuran di lokasi untuk periode setahun mulai Maret 2006 sampai dengan Maret 2007. Pengukuran kecepatan angin dilakukan pada level ketinggian 50 meter di atas permukaan tanah dan diletakkan pada titik koordinat 06°58'36.6" lintang selatan dan 105°23'29.5" bujur timur.

3.2 Data Peta Vektor

Peta vektor yang digunakan berupa peta digital produksi *BAKOSURTANAL* dengan kode peta 1109-224, wilayah Binuangeun. Jenis proyeksi yang digunakan pada peta vektor tersebut dalam *WAsP* adalah *UTM*, zona 48 (+105,00°), skema *Datum WGS 1984*. Luas peta vektor yang digunakan sekitar 15km×9km, dibatasi oleh sumbu x dan y seperti diperlihatkan pada Gambar 3-1 dan Tabel 3-1.

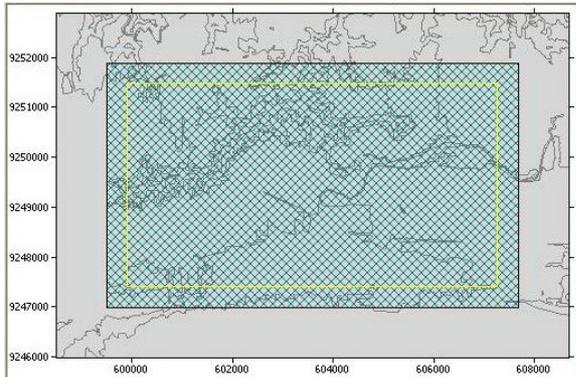


Gambar 3-1: Peta Vektor

Tabel 3-1: LUAS BATASAN PETA VEKTOR

Batas Sumbu	Min	Max	Proyeksi
x	596002,0	611002,0	East
y	9245013,0	9254009,0	North

Sedangkan luas wilayah yang di analisa potensi energi anginnya dibatasi oleh nilai sumbu x dan y seperti diperlihatkan dalam Gambar 3-2 dan Tabel 3-2.



Gambar 3-2: Luas wilayah yang dianalisa

Tabel 3-2: LUAS BATASAN WILAYAH YANG DIANALISA

Batas Sumbu	Min	Max	Proyeksi
x	599500,0	607700,0	East
y	9246960,0	9251880,0	North

Luas wilayah analisa yang dibatasi oleh sumbu x dan y seperti diperlihatkan pada Tabel 3-2 dibagi dalam 6 row x 1366,7m dan 10 column x 492 m (dimensi *grid*). Luas dimensi *grid* ditentukan berdasarkan luas lokasi di mana SKEA akan diimplementasikan. Dengan demikian, WASP akan menghitung sebanyak 60 kali perhitungan sesuai dengan jumlah row dan column yang telah ditentukan.

3.3 Hasil Simulasi

Wasp melakukan perhitungan kecepatan angin dan rapat daya dalam 2 tahap yakni tanpa peta *vektor* dan dengan peta *vektor*.

3.3.1 Perhitungan simulasi tanpa peta *vektor*

Tahap perhitungan tanpa peta *vektor* didalam WASP disebut dengan *Wind Atlas*. Pada tahap ini nilai-nilai hasil perhitungan masih global tanpa memperhitungkan *kontur* atau bentuk kekasaran, *obstacles* atau halangan dari permukaan dataran lokasi. Sedangkan pada tahap perhitungan dengan peta *vektor*, nilai-nilai kekasaran permukaan dataran dan sebagainya yang terkandung dalam peta *vektor* tersebut. Hasil perhitungan simulasi kecepatan angin di

Lebak Banten dan rapat daya pada tahap tanpa peta seperti diperlihatkan pada Tabel 3-3 berikut.

Tabel 3-3: TABULASI HASIL PERHITUNGAN SIMULASI TANPA PETA VEKTOR DI LEBAK BANTEN

H (m)	Parameter	Kelas Kekasaran			
		0.00 m	0.03 m	0.10 m	0.40 m
10 m	Weibull A [m/s]	6.6	4.4	3.9	3.0
	Weibull k	2.03	1.72	1.73	1.74
	Mean speed [m/s]	5.83	3.96	3.44	2.69
	WDP [W/m ²]	228	86	56	27
25 m	Weibull A [m/s]	7.2	5.3	4.8	4.0
	Weibull k	2.08	1.85	1.84	1.83
	Mean speed [m/s]	6.38	4.74	4.24	3.54
	WDP [W/m ²]	291	135	98	57
50 m	Weibull A [m/s]	7.7	6.2	5.6	4.8
	Weibull k	2.13	2.06	2.02	1.98
	Mean speed [m/s]	6.85	5.48	4.98	4.27
	WDP [W/m ²]	353	187	143	92
100 m	Weibull A [m/s]	8.4	7.4	6.7	5.8
	Weibull k	2.07	2.18	2.20	2.23
	Mean speed [m/s]	7.42	6.51	5.93	5.16
	WDP [W/m ²]	463	298	224	145
200 m	Weibull A [m/s]	9.3	9.1	8.3	7.1
	Weibull k	1.97	2.08	2.12	2.16
	Mean speed [m/s]	8.20	8.10	7.32	6.30
	WDP [W/m ²]	656	597	435	272

Ekstrapolasi ketinggian pengukuran dihitung pada 5 tingkat berbeda yaitu: 10, 25, 50, 100, dan 200 meter. Sedangkan untuk panjang kekasaran dihitung untuk 4 jenis panjang kekasaran yang berbeda yaitu: *R-class* 0 (0,00m) sampai dengan *R-class* 3 (0,40m). Dari Tabel 3-3 dapat dilihat bahwa semakin tinggi lokasi maka semakin tinggi kecepatan angin serta semakin besar nilai rapat daya yang terjadi. Hal sebaliknya terjadi untuk kekasaran permukaan, semakin kasar

permukaan dataran maka semakin kecil kecepatan angin serta rapat dayanya (fenomena ini dikenal dengan pergeseran angin atau *wind shear*). Sebagai ilustrasi dengan menggunakan Tabel 3-3, jika suatu *SKEA* mempunyai spesifikasi nominal yang bekerja pada tingkat kekasaran lokasi sebesar 0,03 sedangkan di lokasi mempunyai tingkat kekasaran 0,10 m maka ketinggian hub *SKEA* harus ditambah untuk menyesuaikan antara karakteristik potensi angin berdasarkan *orografi* lokasi dengan karakteristik *SKEA*. (www.windpower.org)

3.3.2 Perhitungan simulasi dengan peta vektor

Pada perhitungan simulasi dengan menggunakan peta vektor, kekasaran permukaan, *obstacles* sangat mempengaruhi nilai kecepatan angin dan rapat daya. Hasil perhitungan simulasinya adalah sebagai berikut:

3.3.2.1 Kecepatan angin

Hasil perhitungan simulasi kecepatan angin untuk lokasi Lebak Banten adalah sebagai berikut:

- Kecepatan angin maksimum sebesar 6,2 m/s.
- Kecepatan angin minimum sebesar 5,74 m/s.
- Kecepatan angin rata-rata sebesar 5,86 m/s.

3.3.2.2 Rapat daya angin

Untuk perhitungan rapat daya angin (*wind power density*) hasil simulasi untuk luas wilayah yang telah ditentukan dalam Tabel 3-2 di Lebak Banten adalah sebagai berikut:

- Rapat daya maksimum sebesar 265 W/m².
- Rapat daya minimum sebesar 210 W/m².
- Rapat daya rata-rata sebesar 225 W/m²

3.3.2.3 Indeks kekasaran (*RIX*)

Indeks kekasaran hasil perhitungan simulasi adalah sebagai berikut:

- *RIX* maksimum sebesar 17,6 %,
- *RIX* minimum sebesar 0,0 %,
- *RIX* rata-rata sebesar 1,0 %.

Kerataan suatu permukaan dataran berpengaruh pada laju aliran angin. Semakin kasar suatu permukaan maka gesekan antara angin dengan permukaan menjadi semakin besar pula. Gesekan tersebut juga dapat menyebabkan terjadinya turbulensi yang dapat mengganggu kelancaran laju aliran angin untuk dapat memutar rotor secara optimal (Andrew Kusiak). Untuk aplikasi *windfarm*, turbulensi harus diperhitungkan dengan cermat karena hal tersebut menyangkut rugi-rugi yang dikenal dengan *wake loss*. Dengan mengetahui arah angin dominan serta nilai *RIX* pada suatu lokasi maka model *wake loss* serta jarak *row* dan *column* antar *SKEA* dapat ditentukan dengan optimal. Biasanya nilai *wake loss* berkisar antara 5-10% (J.F.Manwell, J.G.Mc Gowan, 2002). Berdasarkan Tabel 2-1 nilai *RIX* rata-rata pada lokasi yang dianalisa termasuk lokasi yang terbuka, hanya terdapat sedikit halangan saja seperti bukit-bukit dengan ketinggian yang rendah, pohon-pohon yang tidak terlalu rapat (tersebar) dan sebagainya. Dengan demikian, hal ini memungkinkan *SKEA* untuk dapat beroperasi secara optimal. Nilai *RIX* maksimum terjadi pada koordinat sumbu (x, y) (607700, 9250240). Nilai *RIX* dapat dijadikan sebagai acuan untuk penentuan titik penempatan *SKEA*.

3.3.2.4 Produksi energi *SKEA* tahunan

Untuk mengetahui besar energi potensi angin yang dapat dikonversi kedalam bentuk energi listrik di lokasi yang dianalisa. Dalam simulasi diasumsikan dipasang 1 unit *SKEA* dengan

kapasitas 1,5 MW yang diletakkan pada koordinat (x, y) (602780, 9251060) dengan tinggi hub SKEA adalah 65m (sesuai dengan spesifikasi dari SKEA tersebut). Hasil perhitungan simulasi untuk produksi energi tahunan SKEA (*Annual Energy Production* atau *AEP*) tersebut adalah sebagai berikut:

- AEP maksimum sebesar 3,742 GWh/yr,
- AEP minimum sebesar 3,093 GWh/yr,
- AEP rata-rata sebesar 3,263 GWh/yr.

Perhitungan nilai AEP dilakukan selain dengan memasukkan parameter-parameter spesifikasi SKEA, juga dengan mempertimbangkan kondisi geografis lokasi seperti faktor-faktor halangan permukaan dataran (*terrain blocking*), jarak dari garis pantai (*distance from coastline*), ketinggian permukaan dataran relatif (*Relative elevation*), dan pola aliran angin skala kecil (*small-scale wind-flow pattern*) (Bowen, Antoniou and Mortensen). Faktor-faktor tersebut terkandung dalam peta vektor yang digunakan dalam simulasi.

Jika diringkas dalam bentuk tabel, hasil perhitungan simulasi diperlihatkan pada Tabel 3-4.

Tabel 3-4: HASIL ANALISA POTENSI KECEPATAN ANGIN DI LEBAK BANTEN

Variabel	Ave	Min	Maks
Weibull-A, m/s	6,6	6,5	7,0
Weibull-k,	2,11	2,09	2,12
Kecepatan Angin Rata-rata, w/s	5,86	5,74	6,21
Rapat daya, W/m ²	225	210	265
Produksi energi Tahunan, GWh	3,263	3,093	3,742
Ketinggian Permukaan/ Elevasi, m	8,2	6,3	25

4 KESIMPULAN

Hasil perhitungan simulasi dengan menggunakan *software WAsP* dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Kecepatan angin rata-rata tahunan untuk lokasi yang dianalisa berdasarkan NREL atau Risø adalah sebesar 5,86 m/s termasuk dalam kategori menengah dan rapat daya angin rata-rata tahunan sebesar 225 W/m²,
- Lokasi yang dianalisa termasuk area yang cukup terbuka dengan sedikit halangan (*obstacles*) berupa bukit-bukit kecil dan pepohonan yang tidak rapat serta tersebar, sehingga nilai hasil perhitungan simulasi menggunakan peta vektor untuk parameter indikator RIX dengan nilai rata-rata sebesar 1,0%, yang tergolong dalam *obstacles* kecil,
- Untuk mengimplementasikan *windfarm* pada lokasi yang dianalisa perlu ditentukan model *wake loss*-nya terlebih dahulu agar dapat menentukan jarak antar SKEA pada suatu *windfarm* diperlukan data arah angin rata-rata tahunan (*wind rose*) dan nilai RIX rata-rata suatu lokasi,
- Dengan mengasumsikan dipasang SKEA kapasitas 1,5 MW di lokasi yang dianalisa maka nilai rata-rata energi listrik yang dapat dihasilkan oleh SKEA tersebut dalam setahun adalah sebesar 3,263 GWh/yr.

DAFTAR RUJUKAN

- Andrew Kusiak, Wind Turbine Siting, Intelligent Systems Laboratory, University of Iowa.
- Bowen, Antoniou and Mortensen, *Improving WAsP Predictions in (too) Complex Terrain*, Wind Energy Department, Risø National Laboratory, Mechanical Engineering Department University of Canterbury Christchurch, New Zealand.
- Donna M. Heimiller & Steven R. Haymes, 2000. *Geographic Information Systems in Support of Wind Energy Activities at NREL*, 39th AIAA Aerospace Sciences Meeting in Reno, Nevada, January 8-11.

Dr. Gary L. Johnson, 2006. *Wind Energy Systems*, Manhattan, KS Oct.

DWA (*Danish Wind Power Association*, 2003).

J. F. Manwell, J. G. Mc Gowan, 2002. *Wind Energy Explained, Theory, Design and Application*, A. L. Rogers, John Willey and Sons, Ltd.

Mukund R. Patel, PhD, 1999. *Wind and Solar Power Systems P.E. U.S.* Merchant Marine Academy Kings Point, New York, CRC Press.

Renewable Energy Research Laboratory, University of Massachusetts at Amherst.

Stuart Romero, 2006. *Matching Wind Turbine Characteristics to Site Characteristics*, Curtin University.

www.windpower.org.