

SIMULASI KINERJA SKEA DI KABUPATEN TIMOR TENGAH SELATAN MENGGUNAKAN *WAsP*

Malik Ibrochim

Peneliti PUSTERAPAN, LAPAN
e-mail: rajaibrahim2003@yahoo.com

ABSTRACT

The analysis towards the performance of wind turbin simulation has been done in the District of Timor Tengah Selatan, Nusa Tenggara Timur Province by using the method of *WAsP* simulation. The data used as the simulation input are the wind speed and direction observed in Oelbukbuk vector map of TTS District and 3 (three) brands of 600kW wind turbin. The result shows that the performance of NEG-MICON wind turbine type NM 600-48 brand is better than 2 other brands (Vestas type V44 and Bonus type MK_{IV}) that were simulated based on the wind climate and topography condition at TTS District NTT Province. Based on *CF* value, NEG-MICON type NM 600-48 wind turbine is 44,27 %, bigger than 2 other brands.

Key words: *WAsP*, *Wind Turbine*, *CF*

ABSTRAK

Telah dilakukan analisa terhadap simulasi kinerja SKEA di Kabupaten Timor Tengah Selatan, Provinsi Nusa Tenggara Timur menggunakan metode simulasi *WAsP*. Data yang digunakan sebagai masukan simulasi ini adalah data kecepatan dan arah angin hasil pengamatan langsung di Oelbukbuk, peta vektor Kabupaten TTS dan spesifikasi 3 merek SKEA kapasitas 600 kW. Kinerja SKEA merek NEG-Micon tipe NM 600-48 adalah yang terbaik diantara 2 merek lainnya yaitu Vestas tipe V44 dan Bonus tipe MK_{IV} yang disimulasikan di wilayah Kabupaten TTS Provinsi NTT. Hal tersebut berdasarkan nilai *CF* yang dimiliki SKEA merek NEG-Micon tipe NM 600-48 yaitu 44,27 %.

Kata kunci: *WAsP*, *Turbin Angin*, *CF*

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Potensi kecepatan angin pada suatu wilayah sangat tergantung pada kondisi dan letak geografisnya. Karena itu, perubahan kecepatan angin dan arah angin pada suatu lokasi mempunyai sifat yang tidak tetap dan tidak sama antara satu lokasi dengan yang lainnya. Hal ini juga menyebabkan tingkat kinerja antara Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) yang satu dan yang lainnya berbeda meskipun mempunyai kapasitas yang sama. Oleh karena itu, perlu kiranya dilakukan simulasi untuk mengetahui kinerja satu atau beberapa SKEA yang mana hasilnya dapat menjadi bahan acuan dalam menentukan

spesifikasi SKEA yang akan digunakan pada lokasi tersebut. Saat ini, telah banyak dibuat dan dipergunakan perangkat lunak (*Software*) untuk menganalisa kinerja SKEA sesuai karakteristik potensi kecepatan angin pada suatu lokasi, salah satunya adalah *Wind Atlas Analysis Program (WAsP)*.

1.2 Tujuan

Tujuan penulisan ini adalah untuk mengetahui kinerja SKEA berdasarkan nilai faktor kapasitas (*Capacity Factor* atau *CF*) dengan masukan berupa karakteristik geografis dan potensi kecepatan angin di sekitar Kabupaten Timor Tengah Selatan (TTS) Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT).

1.3 Metodologi dan Batasan Studi

Metode yang digunakan adalah simulasi menggunakan *software WASP* dengan menggunakan data spesifikasi 3 merek SKEA yang berbeda, data kecepatan dan arah angin hasil pengamatan langsung serta peta vektor. Batasan studinya yaitu SKEA yang mempunyai kapasitas sebesar 600 kW, lokasi serta data kecepatan dan arah angin yang digunakan adalah Kabupaten Timor Tengah Selatan (TTS) Propinsi Nusa Tenggara Timur (NTT).

1.4 Permasalahan

Implementasi SKEA bersifat *Site Specific*. Artinya adalah bahwa kinerja suatu SKEA sangat tergantung kondisi geografis (kontur dataran, kekasaran permukaan dataran, dan sebagainya) dan potensi kecepatan angin di lokasi. Mengingat hal tersebut, maka penentuan SKEA yang tepat atau cocok dengan kondisi suatu lokasi menjadi suatu hal yang sangat penting.

2 TINJAUAN TEORI

2.1 Penilaian Potensi Kecepatan Angin

Sebelum melakukan implementasi SKEA, hal pertama yang dilakukan adalah melakukan penilaian atau analisa potensi kecepatan angin di lokasi yang akan digunakan.

Data masukkan dalam melakukan penilaian atau analisa potensi kecepatan angin adalah data kecepatan dan arah angin hasil dari pengamatan langsung selama satu tahun dengan menggunakan alat atau sensor ukur kecepatan dan arah angin yang dipasang pada lokasi tersebut, peta kontur di mana mengandung nilai kekasaran, ketinggian permukaan dataran suatu lokasi.

2.2 Statistik Kecepatan Angin

Untuk mengetahui nilai distribusi dari kecepatan angin yang bervariasi digunakan metode distribusi statistik. Ada 2 metode yang dapat digunakan

yakni metode distribusi *Weibull* dan metode distribusi *Rayleigh*.

Pada metode distribusi *Rayleigh* hanya terdapat satu parameter saja, yakni parameter skala *c*. Dengan nilai parameter bentuk $k = 2$ (biasa disebut distribusi normal).

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 sehingga cukup representatif dan dapat diandalkan dan cocok untuk mengetahui distribusi dari sejumlah data kecepatan angin yang bervariasi.

Fungsi distribusi dari probabilitas distribusi *Weibull* $f(v)$ dapat didefinisikan dengan persamaan (2-1): (Dr. Gary L. Johnson, 2006)

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

2.3 Kekasaran Permukaan Dataran (*Roughness*)

Kecepatan angin permukaan sangat dipengaruhi oleh tingkat kekasaran permukaan. Sedangkan tingkat kekasaran permukaan tergantung pada jenis tutupan lahannya. Klasifikasi kekasaran permukaan dataran dapat dilihat pada Tabel 2-1 (Thomas Ackermann, 2004).

Tabel 2-1: PANJANG KEKASARAN PERMUKAAN

<i>Roughness Class</i>	<i>Roughness Length (Z₀, m)</i>	<i>Energy Index (%)</i>	<i>Land-scape Type</i>
0,0	0,0002	100	Water Surface
0,5	0,0024	73	Completely 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.
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

2.4 Interpolasi Ketinggian

Potensi kecepatan angin pada suatu lokasi dipengaruhi salah satunya oleh ketinggian pengukuran yang diambil. Secara umum, kecepatan angin akan bertambah secara linier dengan pertambahan ketinggian. Kecepatan angin perlu disesuaikan pada ketinggian yang berbeda untuk dua pertimbangan.

- Pengukuran kecepatan angin diambil tidak pada ketinggian pemasangan alat ukur atau sensor *anemometer*.
- *SKEA* yang ada di pasaran komersial biasanya sudah menetapkan ketinggian tertentu dalam spesifikasi teknisnya, dan ketinggian tersebut berbeda-beda antara merek *SKEA* yang satu dengan yang lainnya. Secara tidak langsung, hal ini berpengaruh pada perhitungan atau analisa biaya pula.

Ada dua model perubahan kecepatan angin secara vertikal untuk lokasi atau daerah datar.

- Model logaritmik dimana berdasarkan pada batas lapisan mekanika fluida dan kajian atmosfer
- Dikenal dengan *Hukum Daya* dimana yang paling banyak digunakan oleh penilai potensi kecepatan angin. Perhitungan yang banyak digunakan tersebut seperti terlihat pada persamaan.(2-2)(Bowen, Antoniou and Mortensen, 2006)

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

dengan:

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

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

z =ketinggian referensi (m)

α = eksponen hukum daya dengan;
 $\alpha=0.096\log_{10}(z_0)+0.016(\log_{10}(z_0))^2+0.24$

2.5 Arah Angin atau Wind Rose

Wind rose merupakan bentuk atau hasil gambaran dari arah angin. Dalam satu tahun biasanya terdapat beberapa arah angin yang dominan. Arah angin dominan tersebut berguna dalam menentukan letak penempatan SKEA terutama untuk jumlah pemasangan lebih dari 5 unit dalam satu lokasi (Windfarm). Pada Windfarm, pengaruh arah angin berhubungan dengan rugi-rugi yang disebut Wake Loss yang mempunyai nilai sekitar 1-5% (www.nrel.com) dan otomatis berpengaruh terhadap daya keluaran atau kapasitas Windfarm tersebut

2.6 Rapat Daya Angin (Wind Power Density)

Rapat daya angin yang alirannya tidak mengalami gangguan diberikan oleh persamaan (J. F. Manwell, J. G. McGowan, A.L.Rogers, 2002):

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

dengan

P_W = Daya (Watt)

A = Luas area sapuan SKEA (m²)

ρ = densitas udara (kg/m³)----1,225

v = kecepatan angin (m/s)

Rapat daya diklasifikasikan dalam 7 kelas seperti diperlihatkan pada Tabel 2-2. (J. F. Manwell, J. G. McGowan, A. L. Rogers, 2002)

Tabel 2-2: KLASIFIKASI RAPAT DAYA

Kelas	10 m		30 m		50 m	
	Power Densiti	Kecepatan Angin	Power Densiti	Kecepatan Angin	Power Densiti	Kecepatan Angin
	W/m ²	m/s	W/m ²	m/s	W/m ²	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	8,8-11,9

Rapat daya diklasifikasikan berdasarkan kecepatan angin pada 3 tingkat ketinggian pengukuran berbeda. Pada Tabel 2-2 diperlihatkan hubungan antara kecepatan angin, rapat daya dan ketinggian pengukuran.

2.7 Spesifikasi SKEA

Untuk melakukan penilaian sumber potensi angin pada suatu lokasi, diperlukan karakteristik dari turbin angin atau SKEA. Karakteristik suatu SKEA biasanya digambarkan dalam bentuk kurva daya. Data-data spesifikasi dari SKEA yang dibutuhkan selain kurva daya antara lain adalah tinggi hub, diameter rotor, kecepatan angin cut-in dan cut-out.

2.7.1 Produksi energi tahunan SKEA (Annual Energy Production atau AEP)

Energi listrik yang dihasilkan oleh SKEA dalam setahun sesuai dengan potensi angin yang ada di lokasi (Weibull) dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan (Stuart Romero, 2006):

$$E_E = 8,760 \times 10^{-3} \int_{v_{cut-in}}^{v_{cut-out}} P_e(v) f(v) dv \text{ (GWh/yr)} \quad (2-4)$$

dengan;

$P_e(v)$: sesuai model kurva daya SKEA

$f(v)$: distribusi Weibull pada lokasi

Sedangkan nilai AEP nominal dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$E_W = 8760 \text{ jam} \times \text{kapasitas nominal SKEA (GWh/yr)} \quad (2-5)$$

2.7.2 Faktor kapasitas (Capacity factor)

Pembedaan antar SKEA dapat dilihat dari nilai faktor kapasitasnya (Capacity Factor atau CF). CF merupakan suatu ukuran kinerja dari SKEA bukan merupakan suatu ukuran untuk menentukan berapa energi listrik yang dihasilkan dalam satu tahun. CF dapat juga didefinisikan sebagai suatu rasio dari besar listrik keluaran rata-rata suatu SKEA dalam satu tahun berdasarkan kondisi potensi kecepatan

angin di lokasi terhadap daya nominal dari SKEA tersebut (Stuart Romero, 2006). Nilai CF biasanya berkisar antara 20-40% (Stuart Romero, 2006). Untuk mendapatkan nilai perkiraan energi listrik keluaran SKEA berdasarkan definisi tersebut dapat menggunakan persamaan:

$$CF = \frac{E_E}{E_W} \quad (2-6)$$

dengan;

CF = faktor kapasitas (%)

E_E = energi listrik tahunan yang dihasilkan SKEA aktual (GWhr/yr)

E_W = energi listrik tahunan nominal yang dihasilkan SKEA (GWhr/yr)

2.8 WAsP

Wind Atlas Analysis and Application Program atau *WAsP* merupakan perangkat lunak yang dapat digunakan untuk memprediksi iklim angin, sumber potensi angin dan produksi energi yang dihasilkan oleh SKEA dan/atau *Wind farm* (www.wasp.dk). *WAsP* merupakan produk dan dibangun oleh *Wind Energy Division, Risø DTU, Denmark*.

Dalam melakukan perhitungan parameter-parameternya, *WAsP* memerlukan data masukan di antaranya adalah data kecepatan angin hasil pengamatan langsung dan peta vektor.

2.8.1 Peta vektor

Peta vektor adalah peta ketinggian permukaan tanah dalam bentuk poligon. Peta vektor yang digunakan diambil dari peta ketinggian permukaan tanah digital atau disebut *Digital Elevation Model (DEM)*. Data DEM merupakan salah satu model untuk menggambarkan bentuk topografi permukaan bumi sehingga dapat divisualisasikan ke dalam tampilan tiga dimensi (3D). Ada banyak cara untuk memperoleh data DEM, interferometri *Synthetic Aperture Radar (SAR)* merupakan salah satu algoritma untuk membuat data DEM yang relatif

baru. Data citra SAR atau citra radar yang digunakan dalam proses interferometri dapat diperoleh dari wahana satelit atau pesawat. *Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM)* merupakan misi untuk membuat data topografi (DEM) dengan menggunakan sistem radar dari wahana pesawat ulang alik antariksa (Kustiyo, Yohanes Manalu, dan Sri Harini Pramono 2005). SRTM diluncurkan pada tanggal 11 Februari 2000 oleh *National Geospatial-Intelligence Agency (NGA)* and the *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*. Format peta yang digunakan pada *software WasP* adalah *.map. Kebanyakan, peta dipasaran biasanya mempunyai bentuk *.dwg, atau ArcGIS. Oleh karena itu perlu dikonversi ke dalam format *.map agar dapat digunakan di dalam *WAsP*.

2.8.2 Wind atlas

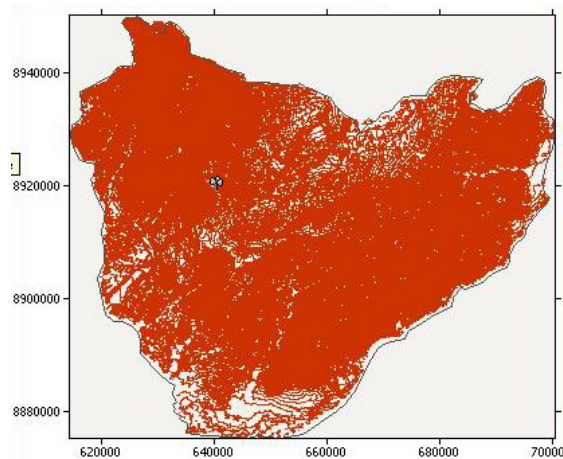
Dalam penggunaan *WAsP*, kecepatan dan arah angin dihitung untuk mendapatkan model iklim angin pada suatu lokasi. Model iklim angin ini disebut *Wind Atlas*. Dalam melakukan perhitungan, *Wind Atlas* memerlukan peta vektor sebagai data masukan yang merupakan fungsi dari kondisi geografi lokasi dan data kecepatan angin hasil pengamatan langsung yang disebut *Observed Wind Climate (OWC)*.

3 DATA DAN PEMBAHASAN

Data masukan untuk melakukan simulasi ini adalah kecepatan angin hasil pengamatan langsung Bidang Konversi Energi Dirgantara LAPAN pada tahun tahun 2008 di Oelbukbuk Kabupaten TTS Propinsi NTT. Posisi stasiun pemantau potensi angin terletak pada titik koordinat 124°12'32,9639"E - 9°43'26,2494"S.

Selain data kecepatan dan arah angin hasil pengamatan langsung, data masukan lainnya adalah peta vektor. Peta vektor untuk Kabupaten TTS yang

digunakan sebagai data masukan simulasi dapat dilihat pada Gambar 3-1.



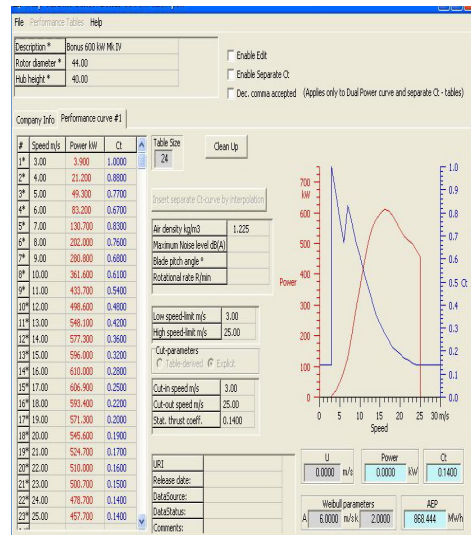
Gambar 3-1: Peta vektor kabupaten TTS

Peta vektor pada Gambar 3-1 berasal dari data DEM dengan resolusi spasial 90m yang diolah menggunakan 3 software pengolah peta digital yaitu *Global Mapper*, *Surfer* dan *Map Editor*. Dalam pembuatan (*generate*) kontur, nilai interval yang digunakan adalah 25 meter dan level ketinggian dalam bentuk poligon yang ditampilkan mempunyai interval perseratus meter.

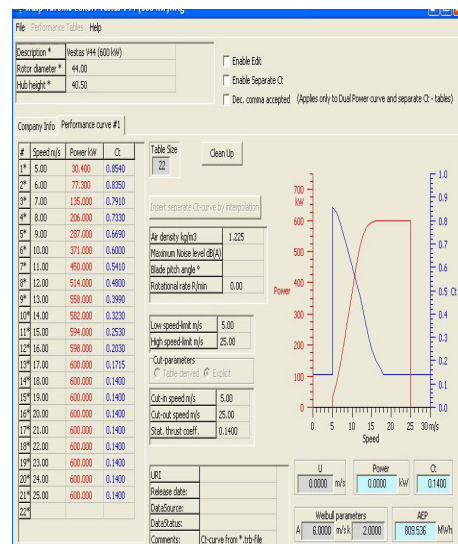
Proyeksi peta menyesuaikan persyaratan *software WASP* yakni *UTM*, zona -51 (LAPAN Data Center), datum *WGS84* dengan satuan planar menggunakan meter.

Berdasarkan data dari LAPAN, jenis tutupan lahan yang terdapat di Kabupaten TTS lebih banyak didominasi oleh semak belukar dengan sedikit hutan primer. Berdasarkan hal tersebut maka nilai kekasaran permukaan yang digunakan dalam simulasi ini adalah 0,0300 meter sesuai dengan Tabel 2-1.

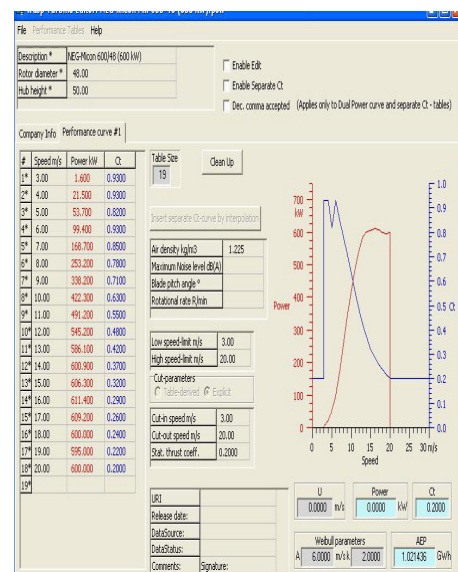
Data masukan terakhir yang diperlukan adalah data spesifikasi SKEA. Kinerja SKEA kapasitas 600 kW yang akan dianalisa adalah merek *Bonus* tipe *MK_{IV}*, *Vestas* tipe *V44* dan *NEG-Micon* tipe *NM 600-48*. Spesifikasi dari 3 SKEA tersebut diperlihatkan pada Gambar 3-2.



Gambar 3-2a: Spesifikasi Teknis Bonus tipe MK_{IV}



Gambar 3-2b: Spesifikasi Teknis Vestas tipe V44

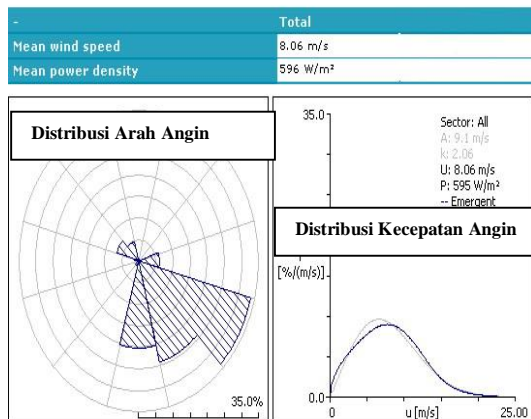


Gambar 3-2c: Speksifikasi Teknis NEG-Micon tipe NM 600-48

3.1 Perhitungan Statistik Potensi Angin

Salah satu parameter perhitungan statistik yang dilakukan oleh *WASP* disebut *Wind Atlas*. Parameter-parameter yang terdapat di dalam *Wind Atlas* tersebut yaitu statistik frekuensi distribusi kecepatan dan arah angin, rapat daya. Hasil perhitungan *Wind Atlas* pada lokasi penempatan SKEA dapat dilihat pada Gambar 3-3.

The predicted wind climate at the turbine site



Gambar 3-3a: Hasil Perhitungan Wind Atlas Pada Titik Lokasi Penempatan SKEA

Sector number	angle [°]	frequency [%]	Weibull-A [m/s]	Weibull-k	speed [m/s]	power [W/m ²]
1	0	0.7	2.9	1.23	2.67	44
2	30	0.6	3.2	1.31	2.92	51
3	60	0.7	6.0	1.90	5.31	184
4	90	18.1	9.2	3.34	8.22	452
5	120	27.0	9.6	3.49	8.65	516
6	150	14.8	9.3	3.21	8.37	486
7	180	17.7	4.7	1.56	4.21	118
8	210	7.3	4.5	1.50	4.10	114
9	240	0.9	3.2	1.16	3.00	70
10	270	3.4	4.9	1.69	4.39	120
11	300	5.4	5.3	1.83	4.67	132
12	330	3.3	4.9	1.73	4.34	112
All (emergent)					6.76	340

Gambar 3-3b: Frekuensi Distribusi Kecepatan Angin

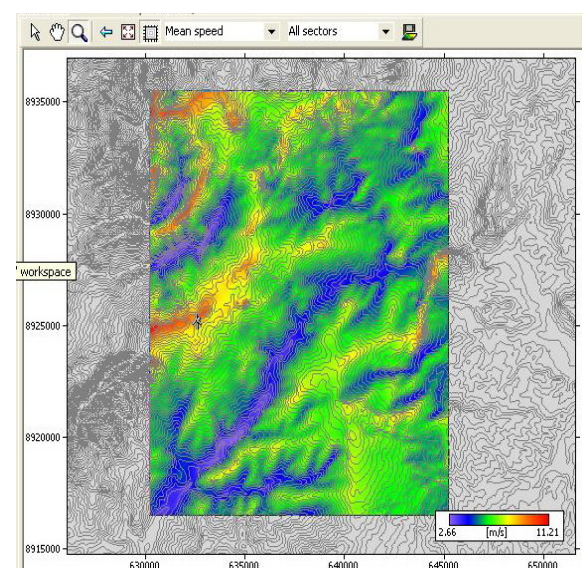
Pada Gambar 3-3 dapat dilihat hasil perhitungan parameter distribusi kecepatan angin rata-rata pertahun di lokasi penempatan SKEA adalah 8,06 m/s dan rapat daya rata-rata pertahun adalah 595 W/m². Nilai parameter *Weibull k* = 2,06 yang diperlihatkan pada grafik distribusi kecepatan angin mempengaruhi bentuk kurvanya menjadi lebih landai sedangkan nilai parameter *Weibull c* = 9,1 mempengaruhi bentuk kurva dengan bentangan yang lebih panjang.

Sedangkan untuk distribusi arah angin, arah dominan adalah dari Selatan dan Tenggara. Hal ini dapat disebabkan oleh lokasi Kabupaten TTS yang berdekatan dengan Australia sehingga pola kecepatan angin di Indonesia dipengaruhi oleh salah satunya pola tekanan dari Australia. (www.kadarsah.wordpress.com)

3.2 Hasil Simulasi Perhitungan Resource Grid

Agar penempatan SKEA lebih efektif maka sebelumnya harus dilakukan perhitungan potensi energi angin pada luas area tertentu terlebih dahulu. Dalam *WASP* perhitungan ini disebut *Resource Grid*. Data masukan yang diperlukan pada perhitungan ini adalah *Wind Atlas*, spesifikasi SKEA dan peta vektor. Tingkat kerapatan pengukuran yang digunakan dapat diatur atau dikenal dengan resolusi. Semakin tinggi resolusi (rapat pengukuran) maka semakin representatif hasil perhitungannya. Konsekuensi dari resolusi tinggi adalah waktu perhitungan akan lebih lama dan hal ini tergantung pada kemampuan komputer yang digunakan.

Hasil perhitungan *Resource Grid* untuk lokasi yang dianalisa diperlihatkan pada Gambar 3-4.



Gambar 3-4: Hasil Perhitungan Resources Grid Untuk Sebagian Kabupaten TTS

Perhitungan *Reosurces Grid* dilakukan pada sebagian wilayah dalam Kabupaten TTS saja. Lokasi analisis dipilih yang berdekatan dengan lokasi stasiun pemantau kecepatan dan arah angin milik LAPAN di Oelbukbuk ($9^{\circ}46'33,7''S - 124^{\circ} 16'56,3''E$).

Batasan geografi lokasi yang dianalisa yaitu $124^{\circ} 11' 14,2863'' E$ (BB), $9^{\circ} 37' 39,7030'' S$ (LU), $124^{\circ} 19' 25,4754'' E$ (BT), $9^{\circ} 47' 56,7507'' S$ (LS). Luas area lokasi yang dianalisis adalah $281,6 \text{ km}^2$ dengan resolusi perhitungan 100 m yang terbagi dalam 150 kolom dan 180 baris. Besar luas area tersebut masuk dalam kategori *meso-micro siting* (J.C. Hansen, N.G. Mortensen, J. Badger, N.E. Clausen and P. Hummelshøj, 2007).

Dari hasil perhitungan *Reosurces Grid*, untuk parameter kecepatan angin rata-rata tahunan pada lokasi yang dianalisis adalah dalam rentang antara $2,66-11,21 \text{ m/s}$ dimana divisualisasikan menggunakan gradasi warna.

3.3 Analisis Kinerja SKEA

Lokasi SKEA diletakkan pada titik koordinat $124^{\circ} 12' 32,9639'' E$ (BT) dan $9^{\circ} 43' 26,2494'' S$ (LS) dengan ketinggian dataran sekitar 1325 meter dari atas permukaan laut. Tinggi *hub* yang digunakan untuk 3 SKEA tersebut adalah 40 meter dari atas permukaan tanah.

Pertimbangan penentuan titik penempatan SKEA yaitu dari hasil perhitungan simulasi untuk parameter *Wind Atlas* dan *Resources Grid* menggunakan *software WAsP*. Pertimbangan lainnya adalah titik penempatan SKEA tidak jauh dengan titik penempatan stasiun pemantau potensi angin sebagai titik referensi agar perhitungan simulasi menjadi lebih akurat ($\pm 10 \text{ km}$) (www.wasp.dk). Hasil perhitungan *Wind Atlas* seperti diperlihatkan pada Gambar 3-3a dan 3-3b.

Perbandingan nilai *Annual Energy Production (AEP)* untuk 3 SKEA hasil perhitungan simulasi dan persamaan 2-5 serta nilai *Capacity Factor (CF)* sesuai

persamaan 2-6 diperlihatkan pada Tabel 3-1.

Tabel 3-1: NILAI AEP SKEA

No.	Merek SKEA	AEP Simulasi (GWh)	AEP Nominal (GWh)	CF (%)
1	Bonus tipe MK _{IV}	2,096	5,256	39,87
2	Vestas tipe V44	2,099	5,256	39,99
3	NEG-Micon tipe NM 600-48	2,327	5,256	44,27

Dari Tabel 3-1 dapat dilihat bahwa nilai *CF* yang paling tinggi adalah SKEA merek NEG-Micon tipe NM 600-48 yakni $44,27 \%$. Hal ini dapat disebabkan oleh 2 hal:

- Nilai *cut-in*

Cut-in adalah istilah dimana SKEA mulai menghasilkan daya pada kecepatan angin tertentu. Besar daya yang dikeluarkan oleh 3 SKEA tersebut pada saat *cut-in* mempunyai nilai berbeda-beda sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 3-2a, b, dan c. SKEA merek NEG-Micon tipe NM 600-48 dan Bonus tipe MK_{IV} mempunyai nilai *cut-in* yang sama yaitu pada kecepatan angin 3 m/s tetapi besar daya yang dihasilkan berbeda dimana SKEA merek NEG-Micon tipe NM 600-48 mengeluarkan daya sebesar $1,6 \text{ kW}$ sedangkan SKEA merek Bonus tipe MK_{IV} mengeluarkan daya sebesar $3,9 \text{ kW}$. Untuk SKEA merek Vestas tipe V44, mempunyai nilai *cut-in* 5 m/s meskipun daya yang dihasilkan lebih besar dari 2 merek SKEA lainnya yaitu sebesar $30,4 \text{ kW}$.

- Daya keluaran pada kecepatan angin rata-rata pertahun di titik lokasi penempatan SKEA.

Kecepatan angin rata-rata pertahun yang terjadi di titik lokasi penempatan SKEA adalah $8,06 \text{ m/s}$ dimana merupakan salah satu parameter dari *Wind Atlas* seperti telah dijabarkan pada sub bab 3.1. Di samping itu, kecepatan angin yang paling banyak

terjadi adalah 4,21 m/s – 8,65 m/s dengan frekuensi antara 14 – 27 % seperti diperlihatkan pada Gambar 3-3b.

Mengacu pada spesifikasi kurva daya masing-masing SKEA yang diperlihatkan pada Gambar 3-2a, b, dan c serta hasil perhitungan *Wind Atlas*, pada kecepatan-kecepatan angin tersebut, masing-masing SKEA mengeluarkan daya yang berbeda. Daya yang dikeluarkan SKEA merek NEG-Micon tipe NM 600-48 adalah yang paling besar dari 2 SKEA lainnya.

4 KESIMPULAN

Dari hasil simulasi diperlihatkan bahwa kinerja SKEA merek NEG-Micon tipe NM 600-48 adalah yang terbaik dengan nilai *CF* sebesar 44,27% dibandingkan dengan 2 SKEA yang lain yaitu Bonus tipe MK_{IV} dengan nilai *CF* 39,87% dan Vestas tipe V44 dengan nilai *CF* sebesar 39,99%.

DAFTAR RUJUKAN

Bowen, Antoniou and Mortensen, 2006. *Improving WASP Predictions in (too) Complex Terrain*, Wind Energy Department, Risø National Laboratory, Mechanical Engineering Department University of

Canterbury Christchurch, New Zealand.

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

J.C. Hansen, N.G. Mortensen, J. Badger, N.E. Clausen and P. Hummelshøj, 2007. *Opportunities for Wind Resource Assessment using Numerical and Observational Wind Atlases: Modelling, Verification and Application*, Risø, wind power shanghai.

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

Kustiyo, Yohanes Manalu, dan Sri Harini Pramono, 2005. *Analisis Ketelitian Ketinggian Data DEM SRTM*. Pertemuan Ilmiah Tahunan MAPIN XIV. Pemanfaatan Efektif Penginderaan Jauh Untuk Peningkatan Kesejahteraan Bangsa.

Lapan Data Center.

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

Thomas Ackermann, 2004. *Wind Power In Power Systems*, John Wiley and Sons.

www.kadarsah.wordpress.com.

www.nrel.com.

www.wasp.dk.