

Pemetaan Potensi Energi Angin di Indonesia

Warjito dan Akbar Rachman

Laboratorium Mekanika Fluida, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI – 16424, Depok

Telp: 021-7270032

E-mail: warjito@eng.ui.ac.id

Abstrak

Meningkatnya kebutuhan energi dan semakin menipisnya cadangan energi fosil mendorong kita untuk lebih serius mencari sumber energi alternatif. Energi angin merupakan salah satu sumber energi alternatif sekaligus sumber energi terbarukan. Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki wilayah pesisir yang potensial untuk pengembangan listrik tenaga angin. Potensi energi yang siap dibangun lebih dari 9290 MW, dan kapasitas terpasang hingga tahun 2009 hanya mencapai 3 MW. Data-data kondisi angin yang akurat diperlukan oleh pemangku kepentingan untuk dijadikan dasar dalam mengambil keputusan dibidang pemanfaatan energi angin. Namun demikian data-data tersebut umumnya sulit diperoleh karena lokasinya tersebar di beberapa instansi dan belum sistematis. Diperlukan suatu upaya untuk mengumpulkan dan menyajikan data-data angin di Indonesia secara menyeluruh dan sistematis. Paper ini melaporkan studi potensi energi angin di Indonesia dan menyajikannya dalam peta potensi energi angin Indonesia. Penelitian ini memanfaatkan data sekunder yang diperoleh dari beberapa instansi. Potensi energi angin diperoleh dengan menggunakan metode distribusi probabilitas guna menghitung jumlah energi berdasarkan kecepatan rata-rata angin per provinsi di seluruh Indonesia dari tahun 2000 hingga tahun 2007. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah memiliki kecepatan angin rata-rata antara 2 m/s hingga 3 m/s, dan menghasilkan energi spesifik hingga mencapai 321 kW.hr/m².

Keywords: Energi angin, distribusi probabilitas, potensi energi angin, energi spesifik, peta angin

Pendahuluan

Memasuki akhir abad ke-20, dunia mulai dibayangi oleh masalah krisis energi. Sumber daya energi yang selama ini banyak digunakan adalah jenis energi yang tidak dapat diperbarui, sumber energi ini akan habis dan manusia harus beralih ke sumber energi lain, yang masih dapat digunakan.

Masalah energi yang berujung pada krisis tidak akan pernah usai jika kita hanya bisa memanfaatkan tetapi tidak dapat mengolah, atau bahkan memperbaiki bentuk energi tersebut.

Di Indonesia, dampak dari krisis energi ini mulai terlihat secara nyata sejak awal tahun 1990 hingga memasuki tahun 2000. Data yang dikumpulkan dan disajikan dalam *Indonesia Energy Outlook and Statistics 2004*^[1] memperlihatkan bahwa kemampuan Indonesia dalam kegiatan ekspor migas mulai turun sejak tahun 1995, dan pada saat yang sama kebutuhan akan impor minyak mentah serta bahan bakar lain mengalami kenaikan. Hal ini menunjukkan dampak krisis energi dunia, juga dialami oleh Indonesia.

Kondisi ini mendorong masyarakat dunia dan Indonesia untuk menggunakan energi dari sumber energi terbarukan. Konsumsi energi dari sumber ini terus meningkat. Data yang disajikan oleh *Energy Information Agency 2004*^[2] menunjukkan peningkatan sebesar 10-30% antara tahun 1980 hingga tahun 2002, terutama pada sumber energi seperti air, panas bumi, dan angin.

Sumber energi angin memiliki potensi yang masih sangat besar. Pada tahun 1980, penggunaan energi angin untuk keperluan generator listrik diperkirakan mencapai 28 Billion Btu. Kemudian pada tahun 1989, tercatat penggunaan energi angin mencapai 22,033 Billion Btu. Hingga pada tahun 2000, penggunaan energi angin dunia sudah mencapai angka 106,311 Billion Btu berdasarkan data dari *Energy Information Agency 2004*^[2].

Di Indonesia, kecepatan angin berkisar antara 2m/s hingga 6m/s. Dengan karakteristik kecepatan seperti itu, Indonesia dinilai cocok untuk menggunakan pembangkit listrik tenaga angin skala kecil (10kW) dan menengah (10-100kW); untuk penggunaan energi seperti misalnya, lampu, pompa air, alat-alat elektronik, dan lain-lain. Pusat tenaga angin sebagian

besar masih berada di Nusa Tenggara Timur yang memiliki kecepatan rata-rata angin hingga lebih dari 5m/s. Ditunjukkan bahwa potensi energi angin di Indonesia mencapai 9,286 MW; di mana penggunaan hingga tahun 2004 masih kurang dari 0.5 MW berdasarkan data dari *Indonesia Energy Outlook and Statistics 2004*^[1].

Dari penjelasan sebelumnya, dapat diambil kesimpulan bahwa potensi sumber daya energi terbarukan, terutama angin, di Indonesia, masih sangat luas. Energi angin, khususnya, tidak hanya dapat mengatasi keterbatasan pembangkit listrik secara menyeluruh, namun juga dapat digunakan dalam skala kecil; contohnya untuk sektor perumahan.

Turbin angin, sebagai fasilitas pengolah energi angin menjadi energi listrik yang paling banyak digunakan, dapat menjadi salah satu jawaban atas masalah krisis energi. Turbin angin diproduksi dengan daya keluaran berkisar antara 600kW hingga 1 MW, bahkan sudah ada yang dapat mencapai 2.5 MW. Teknologi harus dapat dikembangkan untuk penggunaan yang lebih luas, dan lebih mudah^[1].

Pada area instalasi turbin angin, terutama turbin angin dengan desain skala kecil, terdapat aturan (*rule of thumb*) di mana turbin angin harus berada pada posisi 9 meter lebih tinggi, dari bangunan apapun dalam radius 152 meter^[3]. Hal ini kemungkinan akan menjadi masalah mengingat padatnya persebaran penduduk di kota-kota besar terutama di kota Jakarta. Namun masih terbuka kemungkinan untuk pengembangan desain alternatif dari model turbin angin yang sudah ada saat ini.

Turbin angin skala kecil untuk area permukiman dapat diciptakan untuk mengatasi masalah krisis energi, terutama pada sektor residensial yang seringkali terlewatkan. Turbin angin dapat menghasilkan energi listrik untuk kebutuhan sehari-hari; tidak membebani bangunan lain, tidak menimbulkan suara bising, dan dampaknya pada lingkungan adalah, turbin tidak menghasilkan polusi sedikit pun^[4].

Turbin angin skala kecil merupakan pilihan yang cukup tepat untuk solusi energi alternatif, yaitu pada area permukiman. Oleh karena itu, dalam penelitian kali ini, dilakukan analisis dan perhitungan mengenai pemetaan potensi sumber daya angin dan perbandingan antara potensi tersebut dengan jenis turbin angin yang ada di pasaran.

Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

Pengambilan data sekunder

Data sekunder meliputi karakteristik angin di seluruh wilayah Indonesia sebanyak 33 propinsi, yaitu; kecepatan angin, tekanan, serta temperatur udara dari tahun 2000-2007. Data yang ada disajikan dalam bentuk rata-rata per bulan selama 8 tahun, dan kemudian dihitung rata-rata per tahun. Sebagai contoh, di bawah ditampilkan tabel untuk propinsi Aceh dengan lokasi stasiun BMKG di Blang Bintang dan ketinggian instrumen ukur 21 meter^[5].

Tabel [1] Karakteristik angin untuk propinsi Aceh tahun 2000-2007

Propinsi	Elevasi, m	Tahun	Tekanan, kPa	Temperatur, K	V rata-rata, m/s
Aceh	21	2000	100,89	299,15	0,43
		2001	101,03	299,32	0,77
		2002	101,01	299,65	2,01
		2003	101,01	300,13	2,27
		2004	101,43	299,92	2,10
		2005	101,39	299,99	2,01
		2006	101,41	300,23	2,01
		2007	101,22	299,38	2,01

Penentuan metode hitung *wind-mapping*

Untuk melakukan perhitungan terhadap potensi angin di seluruh Indonesia dan kemudian memetakannya, diperlukan pengukuran dan analisis data angin yang memadai, guna mengetahui secara tepat potensi angin di propinsi-propinsi Indonesia.

Pekerjaan yang tepat dilakukan adalah^[6]:

1. Melakukan pengukuran, pencatatan, dan analisis data angin secara kontinu pada suatu titik (daerah) yang akan dihitung potensi angin. Diperlukan data minimal selama satu tahun, agar data-data tersebut dapat mewakili karakteristik angin di suatu titik.
2. Mengolah data.
3. Menentukan kelas kecepatan angin berdasarkan kecepatan rata-rata dan potensi energi yang tersedia

Metode olah data untuk analisis potensi energi angin

Tahap pertama dalam menghitung energi angin adalah mengetahui kecepatan angin rata-rata, yaitu sesuai data yang ada, dalam rentang waktu tahunan. Kecepatan angin rata-rata dapat dihitung dengan persamaan (2.1):

$$\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (2.1)$$

Tahap kedua adalah menghitung peluang lama terjadinya angin pada suatu nilai, serta di atas kecepatan tertentu. Nilai ini dapat ditentukan dengan menggunakan distribusi probabilitas:

$$0 \leq p(x) \leq 1, \sum p(x) = 1 \quad (1.2)$$

$$F(x) = P(X \leq x) = \sum p(\xi) \quad (2.3)$$

Kemudian pada tahap selanjutnya, data kerapatan udara tersebut digunakan ke dalam persamaan [2.13] untuk mendapat nilai daya spesifik pada rata-rata kecepatan yang dihitung.

$$P = 0,5 \cdot C_p \cdot \rho \cdot V^3 \quad (2.13)$$

Energi spesifik yang dihasilkan adalah perkalian antara daya spesifik dan lama angin bertiup pada suatu nilai kecepatan dalam suatu rentang waktu.

Dari data yang didapat, periode yang diobservasi selama 8 tahun (64,512 jam). Maka untuk mendapatkan nilai energi spesifik dari suatu wilayah, nilai daya spesifik pada wilayah tersebut dikalikan dengan jumlah jam terjadinya kecepatan angin yang diinginkan.

Tahap berikutnya adalah menghitung keluaran daya dari turbin angin. Berdasarkan referensi dari *Wind Energy Systems*^[7], parameter-parameter untuk menentukan karakteristik kecepatan turbin angin adalah sebagai berikut:

- a) Kecepatan *cut in* $= 0,7 \cdot V_{rata-rata}$
- b) Kecepatan nominal hingga $2 \cdot V_{rata-rata}$ $= 1,5 \cdot V_{rata-rata}$
- c) Kecepatan *shutdown* dan lebih $= 3 \cdot V_{rata-rata}$

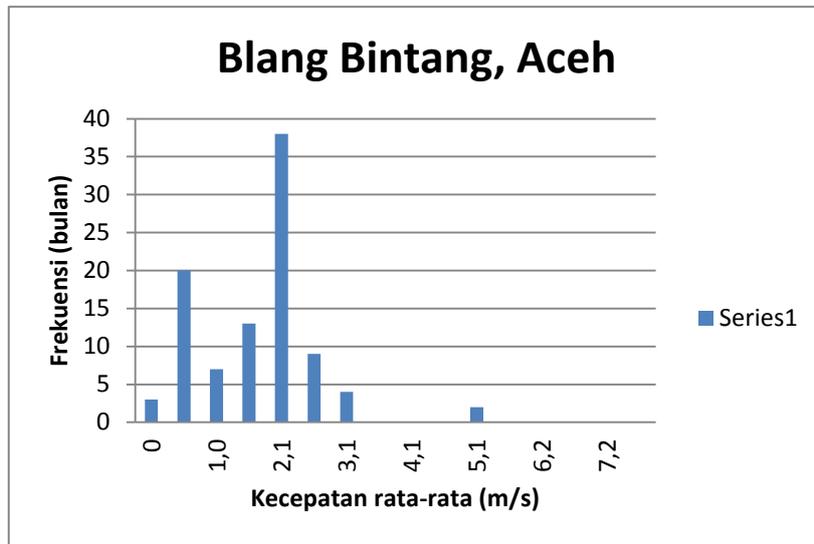
Komparasi *windmap* dengan teknologi turbin angin

Pada tahap komparasi, terdapat dua pekerjaan yang dilakukan untuk mendapatkan hasil *wind map* yang baik;

- a) Pertama adalah menyusun titik per wilayah (*plotting*) berdasarkan data karakteristik angin yang telah diolah. Resolusi data mencapai tingkat propinsi dan maka dari itu ditampilkan 33 propinsi di seluruh wilayah Indonesia dengan masing-masing wilayah memiliki karakteristik angin dan potensi energi listrik.
- b) Kedua adalah menyusun titik per wilayah berdasarkan data karakteristik turbin angin yang telah didapat. Resolusi data mencapai tingkat propinsi, dan disatukan dengan hasil *plotting* data karakteristik angin sebelumnya. Dengan begitu, didapat hasil *wind map* yang memuat tidak hanya karakteristik angin dan potensi energi per wilayah, namun juga karakteristik turbin angin yang tepat untuk seluruh wilayah tersebut.

Hasil dan Pembahasan

Nilai kecepatan angin rata-rata per tahun dibutuhkan untuk mendapatkan nilai daya spesifik dan energi yang dihasilkan per tahun. Untuk perhitungan lebih detil dibutuhkan metode perhitungan distribusi probabilitas kecepatan angin sebelumnya.



Gambar 1. Grafik frekuensi kecepatan angin per bulan untuk daerah Blang Bintang, Aceh periode 2000-2007

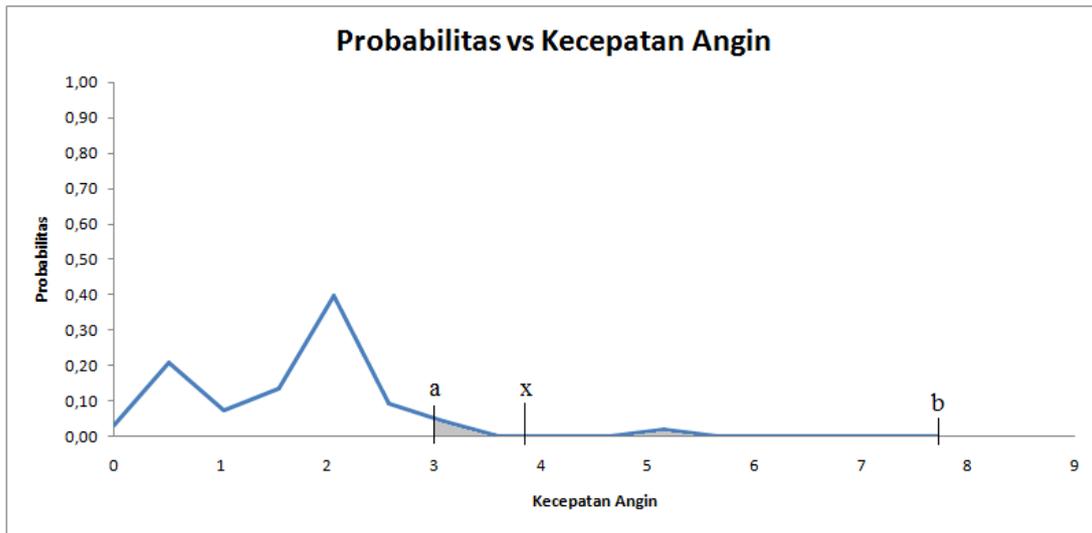
Dari gambar [1], disusun ke dalam tabel dengan distribusi probabilitas menggunakan persamaan [2.2] dan [2.3], sehingga didapat hasil sebagai berikut:

Dari data kerapatan udara yang didapat sebelumnya, didapat nilai daya spesifik, seperti pada contoh perhitungan untuk daerah Blang-Bintang, Aceh pada tahun 2000. Sehingga dari persamaan [2.13] didapat

Tabel [2] Hasil distribusi probabilitas kecepatan angin daerah Blang-Bintang, Aceh periode 2000-2007

V rata-rata (m/s)	peluang relatif	bulan (relatif)	peluang kumulatif	bulan (kumulatif)	jam (relatif)	jam (kumulatif)
0	0,03	3	0,97	93	2016	62496
0,5	0,21	20	0,76	73	13440	49056
1,0	0,07	7	0,69	66	4704	44352
1,5	0,14	13	0,55	53	8736	35616
2,1	0,40	38	0,16	15	25536	10080
2,6	0,09	9	0,06	6	6048	4032
3,1	0,04	4	0,02	2	2688	1344
3,6	0,00	0	0,02	2	0	1344
4,1	0,00	0	0,02	2	0	1344
4,6	0,00	0	0,02	2	0	1344
5,1	0,02	2	0,00	0	1344	0
5,7	0,00	0	0,00	0	0	0
6,2	0,00	0	0,00	0	0	0
6,7	0,00	0	0,00	0	0	0
7,2	0,00	0	0,00	0	0	0
7,7	0,00	0	0,00	0	0	0

Probabilitas dalam tabel [2] disusun dalam bentuk grafik sebagai berikut:



Gambar [2] grafik probabilitas kecepatan angin rata-rata di daerah Blang Bintang, Aceh periode 2000-2007

Dari data kerapatan udara yang didapat sebelumnya, didapat nilai daya spesifik, seperti pada contoh perhitungan untuk daerah Blang-Bintang, Aceh pada tahun 2000. Sehingga dari persamaan [2.13] didapat nilai daya spesifik daerah Blang-Bintang, Aceh sebagai berikut:

Tabel [3] daya spesifik (W/m²) untuk daerah Blang-Bintang, Aceh tahun 2000-2007

V rata-rata (m/s)	kPa	K	kg/m ³	daya spesifik (W/m ²)
0	101,17	299,72	1,18	0,00
0,5	101,17	299,72	1,18	0,05
1,0	101,17	299,72	1,18	0,38
1,5	101,17	299,72	1,18	1,28
2,1	101,17	299,72	1,18	3,03
2,6	101,17	299,72	1,18	5,91
3,1	101,17	299,72	1,18	10,21
3,6	101,17	299,72	1,18	16,21
4,1	101,17	299,72	1,18	24,20
4,6	101,17	299,72	1,18	34,46
5,1	101,17	299,72	1,18	47,27
5,7	101,17	299,72	1,18	62,92
6,2	101,17	299,72	1,18	81,68
6,7	101,17	299,72	1,18	103,85
7,2	101,17	299,72	1,18	129,71
7,7	101,17	299,72	1,18	159,54

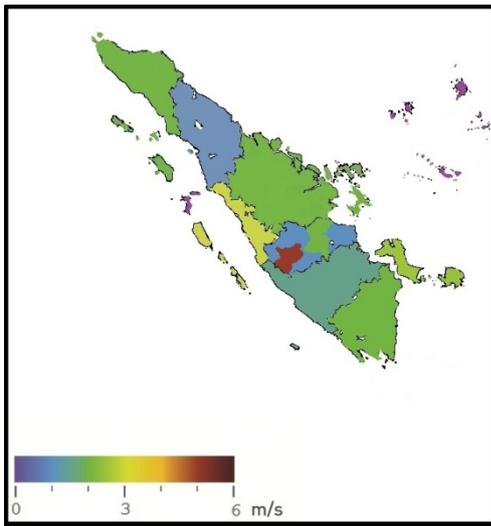
Perhitungan energi spesifik dapat diselesaikan dengan mengalikan daya spesifik pada tabel [3] dengan jumlah jam kumulatif, sehingga didapat hasil :

Tabel [4] nilai energi potensial (W.h/m²) untuk daerah

Blang-Bintang, Aceh tahun 2000-2007

V rata-rata (m/s)	daya spesifik (W/m ²)	energi (Wh/m ²)
0	0,00	0,00
0,5	0,05	2318,92
1,0	0,38	16772,45
1,5	1,28	45457,16
2,1	3,03	30495,37
2,6	5,91	23824,51
3,1	10,21	13722,92
3,6	16,21	21791,48
4,1	24,20	32528,39
4,6	34,46	46314,84
5,1	47,27	0,00
5,7	62,92	0,00
6,2	81,68	0,00
6,7	103,85	0,00
7,2	129,71	0,00
7,7	159,54	0,00

Tahap lanjutan dari perhitungan daya spesifik, energi spesifik, dan keluaran daya dari turbin angin adalah menyusun data-data hasil perhitungan tersebut ke dalam sebuah peta rupa bumi Indonesia. Sebagai contoh, data kecepatan angin rata-rata disusun ke dalam peta rupa bumi Indonesia untuk pulau Sumatera, sebagai berikut:



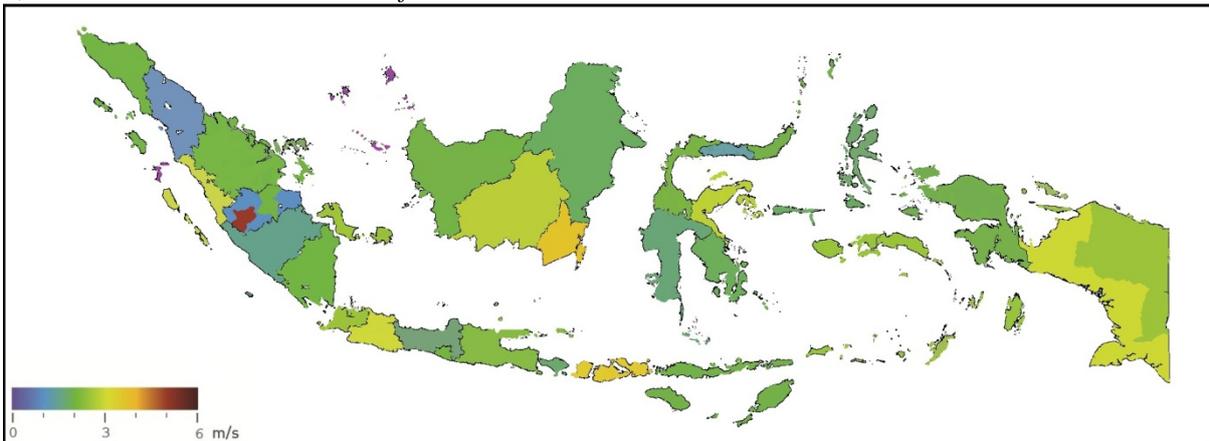
Gambar [3] peta persebaran kecepatan angin rata-rata untuk pulau Sumatera, periode 2000-2007

Pengembangan Energi Angin^[8] tercatat kecepatan angin rata-rata wilayah bagian timur Indonesia mencapai 6 m/s dan lebih, sementara dari data yang didapat dari BMKG dan hasil perhitungan yang dilakukan dan dilampirkan pada bagian Lampiran, didapatkan hasil dengan nilai tak lebih dari 5,5 m/s. Hal ini disebabkan perbedaan jumlah variasi data pada tiap literatur, sehingga menyebabkan perbedaan pada hasil perhitungan yang dilakukan.

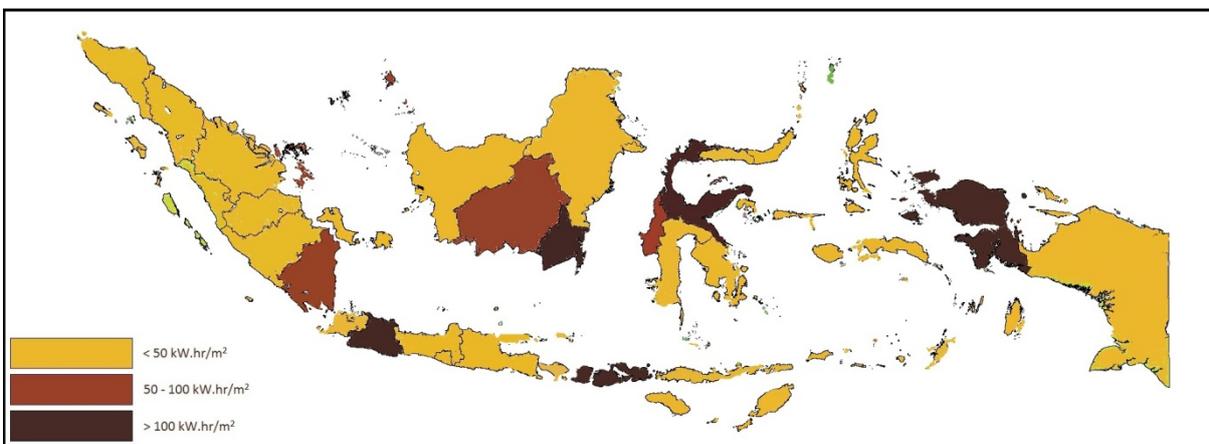
Dari perhitungan yang dilakukan untuk daerah Blang Bintang, provinsi Aceh periode 2000-2007, didapatkan hasil sebagai berikut; kecepatan rata-rata angin paling tinggi terjadi pada tahun 2007 dengan nilai 2,01 m/s. Perhitungan selanjutnya menunjukkan daya spesifik dan energi spesifik berturut-turut untuk wilayah Blang Bintang selama 8 tahun, yaitu; 10,21 W/m² dan 13,72 kW.hr/m². Dengan contoh perhitungan tersebut, dapat digunakan untuk menghitung potensi 32 provinsi lain.

Kesimpulan

Kecepatan rata-rata angin per bulan sesuai dengan data yang diambil nilainya lebih kecil dari kecepatan rata-rata angin di literatur-literatur lain. Sebagai contoh, dari *Resume Pemanfaatan dan*



Gambar [4] peta rupa bumi Indonesia berdasarkan kecepatan angin rata-rata



Gambar [5] peta rupa bumi Indonesia berdasarkan nilai potensi energi angin

Referensi

- ^[1]2004. *Indonesia Energy Outlook and Statistics*
- ^[2]2004. *Energy Information Agency*
- ^[3]1987. Woofenden, Ian. *Wind Electricity Basics*. Home Power Magazine. Oregon : USA.
- ^[4]Sankar, Terrence C. *The Case for Vertical Axis Wind Turbines*. Robert Morris University. Pittsburgh : USA.
- ^[5]2012. Tim Database BMKG. *Kecepatan Angin di Indonesia 2000-2007*. BMKG : Jakarta.
- ^[6]1996. *Data dan Informasi Potensi dan Pemanfaatan Energi Angin. Perhitungan Potensi Energi Angin*. LAPAN : Jakarta.
- ^[7]1983. Djodjodhardjo, Harijono; Molly, Jens Peter. *Wind Energy Systems*. Bandung.
- ^[8]2010. Sudarto, Aris. Saragih, Budiman. *Resume Pemanfaatan dan Pengembangan Energi Angin: Potensi dan Lokasi Pemanfaatan Energi Angin*. Kementerian ESDM-Dirjen EBTKE. Jakarta.