Kajian Potensi Energi Angin untuk Perencanaan Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) di Kota Pontianak

Andi Ihwan[1)] dan **Ibrahim Sota**[2)]

Abstrak: Krisis energi telah banyak melanda negara di berbagai belahan bumi diantaranya Indonesia, hal ini disebabkan karena cadangan bahan bakar fosil semakin berkurang sedangakan kebutuhan akan energi semakin meningkat salah satu jalan keluarnya adalah melakukan pencarian energi alternatif dalam bentuk energi baru dan terbarukan salah satu energi alternatif adalah energi angin. Dalam penelitian ini akan dikaji potensi energi angin di Kota Pontianak. Dari hasil analisis menggunakan metode Fungsi Weibull diperoleh bahwa kecepatan angin yang bertiup di Kota Pontianak termasuk dalam golongan angin rendah, yaitu berkisar pada kecepatan 2,5 - 3,5 m/s. Potensi energi yang dapat dihasilkan dari tenaga angin di Kota Pontianak berkisar antara 3,21 - 4,82 KW.

Kata Kunci: angin, Weibull, energi, turbin

PENDAHULUAN

Angin disebabkan oleh pemanasan sinar matahari yang tidak merata di atas permukaan bumi. Udara yang lebih panas akan mengembang menjadi ringan dan bergerak naik ke atas, sedangkan udara yang lebih dingin akan lebih berat dan bergerak menempati daerah tersebut. Perbedaan tekanan atmosfer pada suatu daerah yang disebabkan oleh perbedaan temperatur akan menghasilkan sebuah gaya. Perbedaan dalam tekanan dinyatakan dalan istilah gradien tekanan merupakan laju perubahan tekanan karena perbedaan jarak. Gaya gradien merupakan gaya yang bekerja dalam arah dari tekanan lebih tinggi ketekanan yang lebih rendah. Arah gaya gradien tekanan di atmosfer tegak lurus permukaan isobar. Beberapa karakteristik angin lokal yang menjadi dasar kajian Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) adalah:

a. Angin Darat-Laut

Wilayah Indonesia merupakan daerah kepulauan dengan luas lautan lebih besar dari daratan. Angin darat-laut disebabkan karena daya serap panas yang berbeda antara daratan dan lautan. Perbedaan karakteristik laut dan darat tersebut menyebabkan angin di pantai akan bertiup secara kontinyu sehingga cocok dengan SKEA.

b. Angin Orografi

Angin orografi merupakan angin yang dipengaruhi oleh per-

[1)] Staf Pengajar Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Tanjungpura, Pontianak
email: iwankonjo@yahoo.com
[2)] Staf Pengajar PS Fisika, FMIPA, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru

bedaan tekanan antara permukaan tinggi dengan permukaan rendah (angin gunung dan angin lembah). Pada siang hari berasal dari lembah berhembus ke atas gunung (angin lembah) dan sebaliknya pada malam hari.

c. Kecepatan Angin Terhadap Kekasaran Permukaan & Ketinggian

Kekasaran permukaan menentukan berapa lambat kecepatan angin dekat permukaan. Di area dengan kekasaran tinggi, seperti hutan atau kota, kecepatan angin dekat permukaan cenderung lambat dan sebaliknya kecepatan angin cukup tinggi pada area kekasaran rendah seperti daerah datar, lapangan terbuka.

Model Keadaan Angin

Angin bersifat tidak ajeg maka untuk menganalisis kecepatan angin permukaan guna memperoleh karakteristik kecepatan angin, harus didasarkan atas analisis statistik. Model statistik yang cocok untuk menjelaskan distribusi kecepatan angin adalah Fungsi Weibull (Kennedy, *dkk* dalam Himran, 2002) menyatakan bahwa Fungsi Weibul distribusi kumulatif adalah:

$$F(v) = 1 - e(-(v/c)^k) \quad \text{.... (1)}$$

Fungsi distribusi frekuensi relatif kecepatan angin adalah turunan dari fungsi distribusi kumulatif yaitu:

$$f(v) = \frac{dF(v)}{dv} = (k/c)(v/c)^{k-1} e(-(v/c)^k) \quad \text{..... (2)}$$

Parameter distribusi kecepatan angin *k* dan *c* masing-masing menyatakan faktor bentuk (tidak berdimensi) dan faktor skala distribusi (ms^{-2}). Bila parameter *k* dan *c* disuatu daerah telah diketahui maka karakteristik distribusi kecepatan angin dapat ditentukan juga. Kecepatan angin rendah dan terdispersi harga berada diantara 1,0 dan 2,0 sedangkan kecepatan angin relatif tinggi dan kurang terdispersi harga *k* berada antara 2,0 dan 4,0 nilai faktor skala besar untuk kepatan angin tinggi dan bernilai kecil bila kecepatan anginnya rendah. Kecepatan angin rata-rata dan deviasi standar obsevasi ditentukan berdasarkan relasi:

$$\bar{v} = \sum_{i=1}^{n} \frac{t_i v_i}{t_i} \quad \text{..... (3)}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (v_i)^2 - \frac{\left(\sum v_i\right)^2}{N}}{N-1}} \quad \text{..(4)}$$

dengan:

$\bar{v}$: kecepatan rata-rata angin pada observasi (m/s)

t_i : jumlah waktu untuk kecepatan v_i

N : jumlah jam pengamatan

σ : standar deviasi

Kecepatan rata-rata dapat dimodelkan berdasarkan persamaan berikut:

$$\bar{v}_t = \int_o^\infty v.f(v)dv$$

$$\bar{v}_t = \int_o^\infty v.(k/c).(v/c)^{(k-1)}.e\left(-(v/c)^k\right)dv$$

$$\bar{v}_t = c\Gamma(1+1/k)$$

…….... (5)

Γ adalah parameter fungsi gamma. Penentuan harga parameter distribusi kecepatan angin *k* dan *c* dapat dilakukan dengan cara metode regresi linier. Bila pada Persamaan 5 dilakukan logaritma natural dua kali maka diperoleh persamaan:

$$\ln(-\ln(1-F(v))) = k\ln v - k\ln c \quad ...(6)$$

Persamaan di atas dapat diseder-hanakan dalam bentuk persamaan garis lurus:

$$y = ax + b$$

diketahui bahwa *x* dan *y* merupakan sebuah variabel, *a* merupakam kemiringan sebuah garis *(slope)* serta *b* adalah garis perpotongan *(axis)*.

Dari hasil pengelompokan data kecepatan angin berdasarkan hasil dari distribusi frekuensi relatif, maka ukuran pemusatan data dari distribusi kecepatan angin tersebut dapat ditentukan.

Kajian Energi Angin

Energi angin merupakan energi alternatif yang mempunyai prospek baik, karena mempunyai sumber yang bersih dan terbarukan kembali serta memiliki kerapatan energi dan kemudahan perubahan/ perpindaan energi yang cukup baik, namun tidak semua daerah di Indonesia memiliki tingkat kecepatan angin yang merata. Menurut laporan DESDM (2005) potensi energi angin di Indonesia masih sangat mungkin dilakukan pengkajian, karena ter-dapat daerah-daerah tertentu yang mempunyai kecepatan di atas rata-rata (5 – 6 m/s). Disamping itu pula Susandi, (2007) mengatakan bahwa potensi energi angin sangat memungkinkan untuk dikembangkan di Indonesia yakni potensi 73 GW, kapasitas terpasang optimum 25 MW, sedangkan kapasitas saat ini baru 0,6 MW, sehingga potensi energi angin secara ekonomis memiliki peluang investasi yang berprospek di masa depan.

Untuk pemanfaatan kincir angin sebagai tenaga listrik skala kecil diperlukan suatu pengatur

tegangan, karena kecepatan angin berubah-ubah, diperlukan suatu bate-rai untuk menyimpan energi, jika angin tidak bertiup. Menurut Hawley R. dalam Jurnal *Power Generation in the Future*, mengemukakan bahwa untuk men-dapatkan energi optimum pada angin yang berkecepatan tinggi maka diperlukan suatu mekanisme yang disebut mekanisme vortex mengantisipasi.

Angin adalah udara yang bergerak dari tekanan udara yang lebih tinggi ke tekanan udara yang lebih rendah. Perbedaan tekanan udara disebabkan oleh perbedaan suhu udara akibat pemanasan atmosfir yang tidak merata oleh sinar matahari, oleh karena pergerakan-nya itu, angin memiliki energi kinetik. Energi angin dapat dikonversi atau ditransfer ke dalam bentuk energi lain seperti listrik atau mekanik dengan menggunakan kincir atau turbin angin. Oleh karena itu, kincir atau turbin angin sering disebut sebagai Sistem Konversi Energi Angin (SKEA).

Daya adalah energi per satuan waktu. Daya angin berbanding lurus dengan kerapatan udara, dan kubik kecepatan angin. Daya yang disebabkan oleh energi kinetik aliran angin dengan kecepatan *v*, massa jenis *ρ,* yang melalui sebuah penampang *A* = $\frac{\pi}{4}d^2$ dengan *d* diameter turbin maka daya yang dihasilkan adalah:

$$P = \frac{1}{2}\rho A v^3 \quad \text{..... (7)}$$

dengan:

P : Daya (Watt)

ρ : Massa jenis udara (Kg/m^2)

A : Luas Penampang (m^2)

v : Kecepatan angin (m/s)

Namun demikian tidak semua daya angin tersebut dapat dimanfaatkan oleh kincir karena pada kenyataannya ada kerugian gesekan pada sudu-sudu turbin yang disebut efisiensi tansmisi aerodinamik (*η*) dan koofisien daya rotor (C_p). Sehingga daya yang diekstraki oleh kincir adalah:

$$P = Cp\,\eta\,\frac{1}{2}\rho A v^3 \text{.....} \quad \text{(8)}$$

Nilai Koefisien daya rotor pada prakteknya yang paling ideal adalah C_p = 0.5, nilai ini disebut batas Betz (Betz limit, diambil dari ilmuwan Jerman Albert Betz). Angka ini secara teori menunjukkan efisiensi maksimum dan paling ideal yang dapat dicapai oleh rotor turbin angin tipe sumbu horisontal.

Sedangkan efisiensi transmisi aerodinamik berkisar pada harga maksimum yang ideal η = 0.5 untuk sudu yang dirancang dengan sangat baik pada turbin dan nilai massa jenis udara ρ = 1.204 Kg/m^2. (Himran, 2002)

Model data angin yang aktual yang diperoleh dari fungsi probabilitas frekuensi relatif *f(v)*, maka rata-rata daya yang dihasilkan oleh angin adalah:

$$\overline{P}_w = Cp\,\eta\,\frac{1}{2}\rho A\int_0^{\infty} v^3 f(v)dv \quad .. \quad (9)$$

dengan *f(v)* adalah fungsi distribusi frekuensi Weibull, maka rata-rata daya yang dihasilkan adalah:

$$\overline{P_w} = Cp\,\eta\,\frac{1}{2}\rho A\frac{\bar{v}_t^{\,3}\Gamma(1+3/k)}{[\Gamma(1+1/k)]^3} \quad (10)$$

Teknologi Turbin Angin

Daerah-daerah dengan potensi energi angin rendah, yaitu kecepatan angin rata-rata kurang dari 4 m/s, jenis turbin yang cocok untuk dikembangkan adalah turbin angin tipe horisontal. Turbin angin dengan sumbu horisontal mempunyai sudu yang berputar dalam bidang vertikal seperti halnya propeler pesawat terbang. Turbin angin biasanya mempunyai sudu dengan bentuk irisan melintang yang khusus dengan aliran udara pada salah satu sisinya dapat bergerak lebih cepat dari aliran udara di sisi yang lain ketika angin melewatinya. Fenomena ini menimbulkan daerah tekanan rendah pada belakang sudu dan daerah tekanan tinggi di depan sudu. Perbedaan tekanan ini membentuk gaya yang menyebabkan sudu berputar.

Turbin angin dengan jumlah sudu banyak lebih cocok digunakan pada daerah dengan potensi energi angin yang rendah karena rated wind speed-nya tercapai pada putaran rotor dan kecepatan angin yang tidak terlalu tinggi. Sedangkan turbin angin dengan sudu sedikit (untuk pembangkitan listrik) tidak akan beroperasi secara effisien pada daerah dengan kecepatan angin rata-rata kurang dari 4 m/s.

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini menggunakan data sekunder berupa data karakteristik angin selama 10 tahun di Kota Pontianak. Metode yang digunakan untuk menghitung dan menganalisis nilai distibusi frekuensi relatif dan kumulatif kecepatan angin permukaan dengan menggunakan Fungsi Weibull Persamaan (1) dan Persamaan (2). Setelah diperoleh

nilai dari parameter skala *(c)*, parameter bentuk kurva *(k),* maka diperoleh kecepatan angin rata-rata dari distribusi tersebut dengan menggunakan Persamaan (5). Menganalisis pengaruh angin lokal dan angin musiman berdasarkan distribusi frekuensi kecepatan dan arah angin di Kota Pontianak. Sedangkan untuk mendapatkan potensi energy angin di Kota Pontianak dengan menggunakan Persamaan (10).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisis Distribusi Frekuensi Relatif dan Kumulatif Kecepatan Angin Permukaan

Berdasarkan hasil perhitung-an nilai distribusi frekuensi relatif dan kumulatif kecepatan angin bulanan, diketahui bahwa durasi waktu kecepatan angin yang paling lama terjadi pada bulan Juni yakni sebesar 791,1 jam atau 32,9 hari. Sedangkan durasi waktu kecepatan angin yang paling singkat terjadi pada bulan Pebuari yakni sebesar 663,5 jam atau 27,6 hari.

Rata-rata durasi waktu kecepatan angin untuk musim penghujan sebesar 708,5 jam atau 29,5 hari. Sedangkan rata-rata durasi waktu untuk musim kemarau sebesar 782,3 jam atau 32,59 hari. Total durasi waktu kecepatan angin pada musim penghujan sebesar 2.125,5 jam atau 88,6 hari sedangkan pada musim kemarau sebesar 2.347 jam atau 97,7 hari. Rata-rata durasi waktu kecepatan angin pada musim pancaroba periode pertama (Maret - Mei) sebesar 732,2 jam atau 30,5 hari. Pada musim pancaroba periode ke dua (September - Nopember), rata-rata durasi waktu kecepatan angin sebesar 733,83 jam atau 30,58 hari.

Melihat hasil dari durasi waktu kecepatan angin di atas, terlihat bahwa angin tidak selalu bertiup secara kontinyu setiap saat. Tiupan angin hanya terjadi pada separuh waktu dari periode harian, bulanan, bahkan tahunan. Peristiwa ini menunjukkan bahwa periode angin *calm* (kecepatan angin sama dengan nol) sangat besar. Periode angin *calm* dominan terjadi pada waktu malam hari.

Hasil dari perhitungan distribusi frekuensi relatif kecepatan angin bulanan yang bertiup di kota Pontianak dan sekitarnya berkisar antara 0,5 - 10,5 m/s. Distribusi kecepatan angin yang paling dominan berada pada 2,5 - 3,5 m/s**.** Pada periode musiman, distribusi frekuensi relatif kecepatan angin di

atas 2,5 m/s untuk musim kemarau lebih besar dari pada musim penghujan. Frekuensi kecepatan angin di atas 2,5 m/s pada musim kemarau sebesar 78,41 % sedangkan pada musim penghujan sebesar 77,78 %. Pada musim pancaroba, distribusi frekuensi relatif kecepatan angin di atas 2,5 m/s untuk musim pancaroba periode pertama (Maret - Mei) lebih besar dari pada musim pancaroba periode kedua (September - Nopember). Frekuensi kecepatan angin di atas 2,5 m/s pada musim kemarau sebesar 78,16 % sedangkan pada musim hujan sebesar 73,61 %.

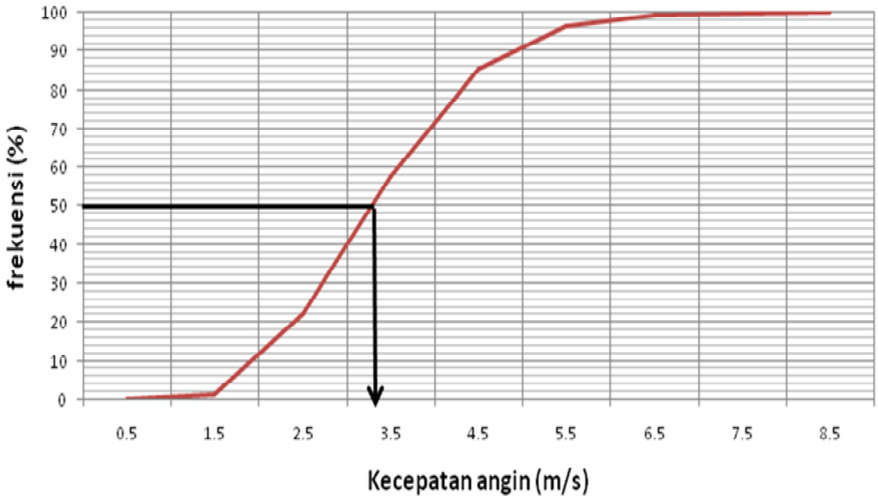
Berdasarkan hasil perhitung-an nilai distribusi frekuensi kumulatif didapat variasi bulanan, untuk nilai parameter skala *(c)* berkisar pada 2,957 - 3,373 m/s. Nilai parameter skala *(c)* tertinggi terjadi pada bulan Januari yaitu sebesar 3,373 m/s dan nilai parameter skala *(c)* terendah terjadi pada bulan Oktober yaitu 2,957 m/s. Rata-rata parameter skala setiap bulannya 3.1 m/s.

Perhitungan nilai parameter bentuk kurva *(k)*, untuk variasi bulanan serkisar antara 3,025 - 3,686. Nilai parameter bentuk kurva *(k)* tertinggi terjadi pada bulan Juni yaitu sebesar 3,686 dan nilai parameter bentuk kurva *(k)* terendah terjadi pada bulan Desember yaitu sebesar 3,025. Rata-rata parameter bentuk kurva sebesar 3,3.

Tabel 1. Nilai frekuensi relatif kecepatan angin di kota Pontianak selama 10 tahun

Kec Angin (m/s)	Frekuensi relative (%) kecepatan angin bulanan											
	Jan	**Feb**	**Mar**	**Apr**	**Mei**	**Jun**	**Jul**	**Ags**	**Sep**	**Okt**	**Nov**	**Des**
0.5	0.9	1.4	0.9	1.2	1.3	0.5	1.1	1.5	1.4	1.6	1.3	2.1
1.5	19.3	18.8	21.0	18.9	21.5	16.5	19.6	23.3	24.0	26.0	25.0	30.7
2.5	29.0	30.2	38.6	37.4	37.3	34.7	34.9	35.7	37.7	38.3	35.7	39.1
3.5	28.5	30.2	25.3	29.7	29.0	34.4	29.8	26.4	25.2	22.4	24.1	29.3
4.5	15.7	13.6	10.4	10.4	8.7	11.4	11.0	10.4	8.3	8.5	10.2	15.1
5.5	5.5	5.0	3.3	2.0	1.5	1.9	2.9	2.0	2.4	2.2	2.8	4.8
6.5	1.0	0.6	0.3	0.2	0.5	0.5	0.6	0.6	0.8	0.9	0.7	0.6
7.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2
8.5	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
9.5	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Berdasarkan data perhitungan nilai distribusi kumulatif dan telah diketahuinya nilai parameter skala *(c)* dan parameter bentuk kurva *(k)* maka probabilitas distribusi frekuensi kecepatan angin akan diperoleh. Rata-rata bentuk kurva dari probabilitas distribusi frekuensi relatif kecepatan angin untuk setiap bulannya menyerupai pola distribusi yang simetris, sehingga pemusatan data kecepatan angin berada di tengah-tengah. Melihat hasil dari probabilitas frekuensi relatif kecepatan angin, maka rata-rata nilai kecepatan angin terpusat pada rentang 2,5 - 3,5 m/s dan rata-rata parameter skala sebesar 3,1 m/s terlihat bahwa kecepatan angin di Kota Pontianak masih rendah.



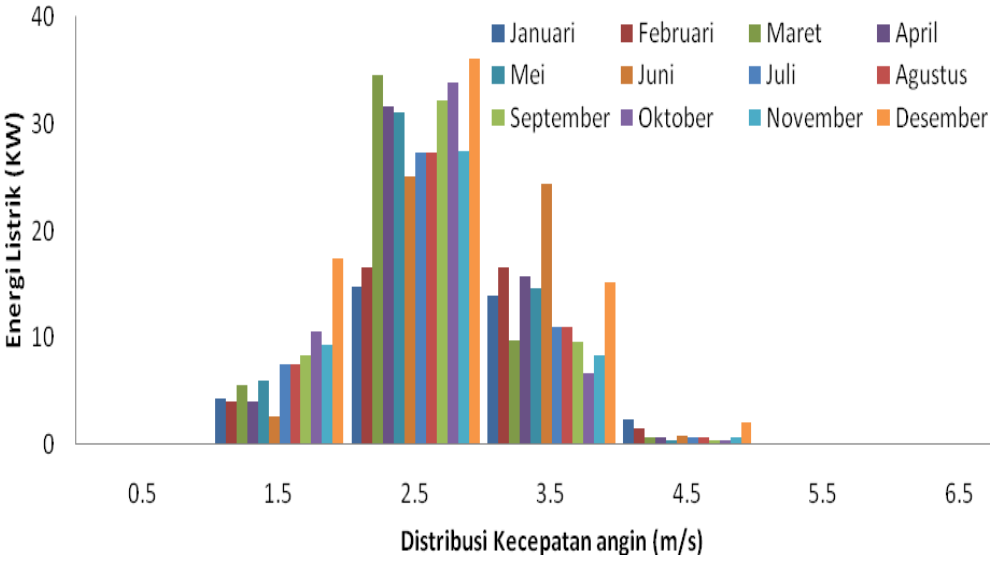
Gambar 1. Kurva frekuensi kumulatif kecepatan angin Kota Pontianak selama 10 tahun

Gambar 1 kurva frekuensi kumulatif berikut ini dapat dilihat 50% kecepatan angin yang terjadi di Kota Pontianak kurang dari atau sama dengan 3,5 m/s. Begitupun dengan modus kecepatan angin yang sering terjadi adalah 2,5 dan 3,5 m/s. Pada siang hari ketika terjadi angin alami, kecepatan angin yang terukur menjadi lebih besar; dengan nilai kecepatan mendekati nilai maksimum 8 m/s.

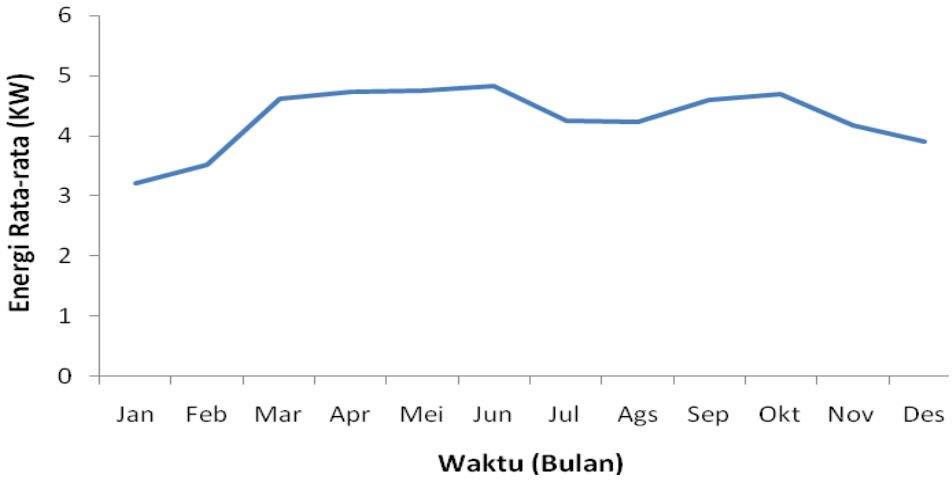
2. Analisis Potensi Daya Angin

Berdasarkan nilai rata-rata kecepatan angin tersebut maka perhitungan potensi daya angin dilakukan dengan menggunakan

jenis turbin horisontal. Jenis turbin yang dipakai adalah turbin horisontal dengan luas penampang turbin 1 m^2 dan besarnya pontensi energi listrik (daya) yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 2, karena distribusi angin yang mempunyai frekuensi terbanyak berada pada kecepatan 2,5 – 3,5 m/s maka potensi energi optimum yang dihasilkan pula terpusat pada kecepatan tersebut yakni berkisar 24,42 - 36,06 KW.



Gambar 2. Proyeksi energi listrik berdasarkan distribusi kecepatan angin



Gambar 3. Energi listrik rata-rata bulanan di Kota Pontianak

Nilai kecepatan angin bulanan di Kota Pontianak tidak konstan (berfluktuasi) hal ini berinplikasi kepada potensi energi listrik yang dihasilkan energi rata-rata perbulannya tertinggi pada bulan Juni yakni berkisar 4,82 KW, sedangkan terendah pada bulan Januari yakni bekisar 3,21 KW. Nilai tersebut masih rendah dibandingkan dengan *cost* pembangunan turbin angin yang memerlukan biaya yang sangat besar. Daya yang dihasilkan oleh tenaga angin tersebut hanya dapat digukan pada skala rumah tangga.

Tingginya potensi daya angin yang terjadi pada bulan Juni dikarenakan frekuensi dan durasi tiupan angin pada bulan tersebut lebih banyak pada kecepatan angin yang lebih tinggi. Sedangkan pada bulan Januari potensi daya angin yang terjadi sangat rendah dikarenakan frekuensi dan durasi tiupan angin pada bulan tersebut lebih banyak pada kecepatan angin rendah.

KESIMPULAN

1. Kecepatan angin di Kota Pontianak termasuk dalam golongan angin yang rendah. Kurva probabilitas distribusi kecepatan angin yang dihasilkan berbentuk simetris dengan pemusatan kecepatan angin berkisar pada 2,5 - 3,5 m/s.
2. Frekuensi kumulatif kecepatan angin di kota Pontianak 50% kurang dari 3,5 m/s.
3. Potensi energi yang dapat dihasilkan dari tenaga angin di Kota Pontianak berkisar antara 3,21 - 4,82 KW. Nilai tersebut masih rendah dibandingkan dengan cost pembangunan turbin angin yang memerlukan biaya yang sangat besar.

DAFTAR PUSTAKA

Bayong, C. H. K., 2004, *Klimatologi*, Edisi kedua, Penerbit ITB, Bandung

Culp, W. A., 1985, *Prinsip-Prinsip Konversi Energi,* Sitompul, Darwin (Alih Bahasa), Erlangga, Jakarta.

Daryanto, Y., 2007, *Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*, Jurnal BALAI PPTAGG – UPT-LAGG, Yogyakarta.

Frick, H., dan Mulyani, T. H., 2006, *Arsitektur Ekologis*, Seri Eko-Arsitektur, Jilid 2, Penerbit Kanisius, Yogyakarta.

Hendry, J. G., Heinke, W. G., *Environmental Science and Engineering,* Second Edition, Prentice-Hall International, London.

Himran, S., 2002, *Potensi Energi Angin*, Jurnal Forum Teknik, Jilid 26, No.1, Makasar

Mulyati, 2008, *Kajian Potensi Energi Angin Indonesia Studi Kasus di NTT,* ITB, Bandung

Nasir, N. S., 1993, *Estimation Of Wind Energy Potentials In Pakistan, University of Baloshistan, Pakistan* (Thesis).

Regariana, C. M., 2004, *Geografi (Cuaca dan Iklim),Modul Online,* http://www.e-dukasi.net/mol/mo_full.php?moid=96, 21:56, 2-12-2008.

Tipler, A. P., 1998, *Fisika Untuk Sains dan Teknik*, Prasetio L., Rahmad, W. Adi, (Alih Bahasa), Jilid 1, Erlangga, Jakarta.

Trewartha, T. G., 1995, *Pengantar Iklim*, Andani, M.S.S (Alih Bahasa), Edisi kelima, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta