

## POTENSI ENERGI ANGIN

### (Studi Kasus Pemanfaatan Energi Angin untuk Wilayah Kodya Makassar dan Sekitarnya)

Syukri Himran<sup>1</sup>

#### ABSTRACT

*The mean hourly wind speed in the year of 1997 at the city of Makassar has been analyzed by Weibull distribution. The analysis shows the wind is generally light and irregular and the distribution has a relatively high dispersion, since the values of Weibull parameters: the shape factor  $k$  and scale factor  $c$  are 1.52 and 4.91 respectively. The average wind speed 4.42 knot (2.27 m/s). The necessary calculations of the output of windmill for water pumping on the basis of wind regime data are explained. From the cost consideration, the price of water supply by windmill is higher than by the electric pump set. It is clear that the use of windmill for water pumping is not attractive as alternative energy utilization.*

**Keywords:** *Wind energy, Weibull function, shape and scale factor.*

#### PENDAHULUAN

Angin disebabkan oleh pemanasan sinar matahari yang tidak merata diatas permukaan bumi. Udara yang lebih panas menjadi ringan dan naik keatas. Udara yang lebih dingin bergerak dan menempati tempat tersebut. Pergerakan udara dari suatu tempat ke tempat lain dinamakan angin. Intensitas pemanasan mata hari diatas permukaan bumi dipengaruhi oleh dua hal utama, pertama: rotasi bumi pada sumbunya dan angin yang disebabkan oleh kondisi ini disebut angin lokal (*local wind*); kedua: translasi bumi mengelilingi matahari pada bidang edar eliptik dan kemiringan poros bumi terhadap bidang edar, 66.5°, dan angin yang disebabkan oleh kondisi ini dinamakan angin planetari (*planetary wind*). Oleh karena intensitas panas matahari berubah dengan musim dan waktu dalam sehari, maka untuk memprediksi pemanfaatan energi angin yang handal sekurang-kurangnya diperlukan data kecepatan angin setiap jam selama setahun (1 tahun = 8760 jam). Data kecepatan angin rata-rata per jam dapat diperoleh dari jawatan Meteorologi.

#### REPRESENTASI MODEL STATISTIK KEADAAN ANGIN

Daya yang disebabkan oleh energi kinetik aliran angin dengan kecepatan  $V$ , massa jenis  $\rho$ , melalui penampang  $A$  adalah  $\frac{1}{2}\rho AV^3$ . Namun demikian tidak semua daya angin tersebut dapat dimanfaatkan oleh kincir. Daya yang diekstraksi oleh kincir:

$P = C_p \eta \cdot \frac{1}{2} \rho A V^3$ ;  $C_p$  dan  $\eta$  masing-masing adalah koefisien daya rotor dan efisiensi mekanis transmisi dan pompa. Dalam praktek nilai  $C_p = 0.35$ ,  $\eta = 0.5$ . Bila  $\rho = 1.204 \text{ kg/m}^3$  ( $20^\circ\text{C}$ , diatas permukaan laut), kecepatan  $V$  (m/s) maka daya kincir adalah:

$$P/A = 0.1V^3 \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (1)$$

Angin bersifat tidak ajeg maka analisis kecepatan angin guna memperoleh jumlah energi yang dapat diekstraksi oleh suatu kincir, harus didasarkan atas analisis statistik. Model statistik yang cocok untuk menjelaskan distribusi kecepatan angin adalah fungsi Weibull. Kennedy, J.B., and Neville, A.M., 1976; Lysen, E.H., 1982, menyatakan fungsi weibull distribusi kumulatif adalah:

$$F(V) = 1 - \exp(-(V/c)^k) \quad (2)$$

Fungsi distribusi frekuensi kecepatan adalah turunan dari fungsi distribusi kumulatif yakni:

$$f(V) = \frac{dF(V)}{dV} = (k/c)(V/c)^{k-1} \exp(-(V/c)^k) \quad (3)$$

Terlihat bahwa fungsi distribusi Weibull tidak mengikutsertakan kecepatan  $V = 0$ .

Fraksi waktu  $t$  di mana kecepatan melebihi  $V$  adalah:

$$t = 1 - F(V) = \exp\left(-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right) \quad (4a)$$

$$V = c \left\{ \ln\left(\frac{1}{t}\right) \right\}^{1/k} \quad (4b)$$

Untuk waktu setahun  $t = 1$  atau identik dengan 8760 jam

Parameter distribusi  $k$  dan  $c$  masing-masing menyatakan faktor bentuk (tak berdimensi) dan faktor skala (berdimensi kecepatan, knot) distribusi. Bila nilai parameter  $k$  dan  $c$  disuatu tempat telah diketahui maka karakteristik distribusi kecepatan angin telah tertentu pula. Kecepatan angin rendah dan terdispersi harga  $k$  berada antara 1.0 dan 2.0, sedang kecepatan angin relatif tinggi dan kurang terdispersi harga  $k$  berada antara 2.0 dan 4.0. Nilai faktor skala besar untuk kecepatan angin tinggi dan bernilai kecil bila kecepatan angin rendah. Kecepatan rata-rata observasi ditentukan berdasarkan relasi:

$$\langle V \rangle_{obs} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i V_i}{t_i} \quad (5)$$

$t_i$  = jumlah waktu untuk kecepatan  $V_i$

deviasi standar observasi:

$$\sigma_{obs} = \sqrt{\frac{\sum (V_i)^2 - \frac{(\sum V_i)^2}{N}}{N-1}} \quad (6)$$

$N$  = jumlah jam pengamatan

Kecepatan rata teoretik ditentukan berdasarkan relasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \langle V \rangle &= \int_0^{\infty} V \cdot f(V) dV \\ &= \int_0^{\infty} V \cdot (k/c) \cdot (V/c)^{k-1} \cdot \exp(-(V/c)^k) dV = c \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \end{aligned} \quad (7)$$

Variansi distribusi adalah:

$$\sigma^2 = \int_0^{\infty} (V - \langle V \rangle)^2 \cdot f(V) dV = c^2 \left( \Gamma(1 + 2/k) - \Gamma^2(1 + 1/k) \right) \quad (8)$$

di mana  $\Gamma$  adalah fungsi gamma. Evaluasi fungsi gamma dapat dilihat pada Abramowitz, M., and Irene, A.I., 1970. Dengan memanipulasi persamaan (1), dan (4) maka diperoleh daya yang dihasilkan oleh kincir sebagai fungsi fraksi waktu  $t$  seperti persamaan berikut:

$$P/A = 0.1c^3 \left[ \ln(1/t) \right]^{3/k} \quad (9)$$

Kurva yang menggambarkan  $V$ , persamaan (4), dan daya  $P/A$ , persamaan (9) sebagai fungsi fraksi waktu  $t$  masing-masing disebut kurva durasi daya dan durasi kecepatan. Kurva ini digunakan untuk menentukan jumlah energi yang dihasilkan oleh kincir dalam setahun. Jumlah energi tersebut, dibatasi oleh tiga macam kecepatan perencanaan yaitu:

$V_{ci}$  : kecepatan angin di mana pompa/generator mulai memberi penghasilan

$V_r$  : Kecepatan angin di mana kincir menghasilkan daya maksimum

$V_{co}$  : kecepatan angin yang tinggi, sehingga rotor kincir harus di rem dan bekerja pada daya maksimum, untuk menghindari kerusakan pada konstruksi.

Sesuai persamaan (4), fraksi waktu untuk setiap kecepatan tersebut adalah:

$$t_{ci} = \exp \left[ - \left( \frac{V_{ci}}{c} \right)^k \right] \quad (10a)$$

$$t_r = \exp \left[ - \left( \frac{V_r}{c} \right)^k \right] \quad (10b)$$

$$t_{co} = \exp \left[ - \left( \frac{V_{co}}{c} \right)^k \right] \quad (10c)$$

Bila kincir digunakan untuk menggerakkan pompa torak dengan debit  $Q$  ( $m^3/s$ ) dan tinggi kenaikan  $H$  (m), daya air yang dihasilkan adalah:

$$P = \rho_{air} g Q H = 9810 Q H (W) \quad (11)$$

Massa jenis air  $\rho_{air} = 1000 \text{ kg/m}^3$ .

Luas bidang dibawah kurva durasi daya yang dibatasi oleh ketiga fraksi waktu menyatakan energi  $E$  ( $Wh/m^2$ ) yang dihasilkan oleh kincir selama periode ( $t_{cr}-t_{co}$ ). Dengan menggabungkan persamaan (9) dan (11), maka jumlah air yang dihasilkan oleh instalasi kincir dan pompa adalah:

$$Q = \frac{E.A.(3600)}{9810H} \text{ m}^3 \quad (12)$$

Penentuan harga parameter distribusi kecepatan angin  $k$  dan  $c$  dapat dilakukan dengan dua cara yakni: metode regresi linear: Exell, R.H.B., 1982, dan Mikhail, A., 1982; dan metode momen: Lysen, E.H., 1982,:

#### a. Metode regresi linear:

Bila pada persamaan (2) dilakukan logaritma natural dua kali maka diperoleh persamaan:

$$\ln(-\ln(1-F(V))) = k \ln V - k \ln c \quad (13)$$

Bila  $\ln(-\ln(1-F(V)))$  dinyatakan pada sumbu vertikal dan  $\ln V$  pada sumbu horizontal maka diperoleh garis linear dengan kemiringan  $k$  dan  $-k \ln c$  adalah titik perpotongan antara garis regresi dengan sumbu vertikal. Dengan demikian harga  $k$  dan  $c$  dapat ditentukan.

#### b. Metode momen

Metode momen didasarkan atas ratio deviasi standar dan kecepatan rata-rata sesuai persamaan (7) dan (8) dan diperoleh relasi sebagai berikut:

$$\frac{\sigma}{\langle V \rangle} = \frac{(\Gamma(1+2/k) - \Gamma^2(1+1/k))^{1/2}}{\Gamma(1+1/k)} \quad (14)$$

Dengan memasukkan nilai  $k = 1.0$  sampai  $4.0$  dengan bantuan komputasi komputer, maka diperoleh  $k$  sebagai fungsi ( $\sigma/\langle V \rangle$ ) sesuai persamaan berikut:

$$k = 1.124(\sigma/\langle V \rangle)^{-0.8115} \quad (15)$$

## ANALISIS

Analisis energi angin untuk wilayah Kodya Makassar dan sekitarnya didasarkan atas data yang diterbitkan oleh Badan Meteorologi dan Geofisika, Balai Wilayah IV, Makassar, selama satu tahun, yakni tahun 1997. Pengukuran kecepatan angin dilakukan di Stasiun Meteorologi Maritim Makassar. yang berlokasi di Paotere, Bujur: 119.25.114 BT, Lintang 05.06.495 LS. Alat ukur kecepatan adalah anemometer mangkuk angin dengan kemudi (*wind cup anemometer with wind vane*) dan berada pada ketinggian 10.0 m diatas permukaan tanah. Ketinggian tersebut sesuai dengan standar WMO (*World Meteorological Organization*). Sesuai komunikasi pribadi dengan staf Badan Meteorologi dan Geofisika, Balai Wilayah IV, Makassar, jangkauan pengukuran kecepatan angin adalah wilayah Makassar dan sekitarnya meliputi: ke utara sampai dengan kota Pare-Pare, ke timur sampai dengan kota Sungguminasa, dan ke selatan sampai dengan kota Takalar dan Jeneponto.

### 1. Distribusi Kecepatan Angin

Data kecepatan angin per jam selama setahun dimanipulasi dan diperoleh frekuensi kecepatan  $f(V)$  seperti terlihat pada Tabel 1. Dengan menggunakan persamaan (5) diperoleh kecepatan rata-rata observasi  $\langle V \rangle_{obs} = 4.42$  knot (2.27 m/s). Analisis regresi untuk penentuan parameter Weibull didasarkan atas data distribusi kumulatif kecepatan  $F(V)$  pada Tabel 1. Dengan pemrograman komputer dan penerapan data pada persamaan (13), diperoleh persamaan regresi linear:  $\ln(-\ln(1-F(V))) = k \ln V - k \ln c = 1.2154 \ln V - 1.7386$  seperti terlihat pada Gambar 1. Dengan demikian diperoleh harga  $k = 1.215$  dan  $c = 4.20$  knot. Bila nilai  $k$  dan  $c$  disubstitusi ke persamaan (7) diperoleh kecepatan rata-rata  $\langle V \rangle = 4.0$  knot. Seperti terlihat pada Tabel 1 bahwa periode tenang (*calm period*) di mana kecepatan  $V = 0$  berlangsung selama 444 jam. Oleh karenanya kecepatan rata-rata teoretik menjadi  $\langle V \rangle = (8760-444) \times 4.0/8760 = 3.80$  knot. Metode momen dilakukan dengan menentukan harga  $(\sigma/\langle V \rangle)_{obs}$ . Dengan memanfaatkan data pada Tabel 1 (data frekuensi kecepatan) dan dengan bantuan pemrograman komputer, diperoleh  $(\sigma/\langle V \rangle)_{obs} = 0.69$ . Dengan persamaan (15) diperoleh nilai  $k = 1.52$ .

Selanjutnya dari persamaan (7) diperoleh harga  $c = \frac{4.42}{\Gamma(1 + \frac{1}{1.52})} = \frac{4.42}{0.9} = 4.91$  knot.

Bila nilai  $k$  dan  $c$  tersebut disubstitusi ke persamaan (7) maka diperoleh harga kecepatan rata-rata  $\langle V \rangle = 4.90$  knot. Seperti halnya pada analisis regresi, penentuan kecepatan rata-rata teoretik tidak melibatkan periode tenang, maka  $\langle V \rangle = (8760-444) \times 4.90/8760 = 4.65$  knot. Perbedaan kecepatan rata-rata teoretik berdasarkan regresi terhadap kecepatan rata-rata observasi adalah:  $(4.42-3.83)/4.42 = 14.0\%$ , sedang metode momen memberi perbedaan  $(4.42-4.65)/4.42 = 5.2\%$ . Oleh karena metode momen memberikan perbedaan lebih kecil daripada metode regresi, maka analisis didasarkan pada metode momen. Frekuensi kecepatan angin observasi (histogram) dan fungsi Weibull selama setahun seperti terlihat pada Gambar 2. Nilai  $k = 1.52$  dan  $c = 4.9$  knot memberi arti bahwa kecepatan angin masih rendah dan terdispersi. Analisis fungsi Weibull juga diterangkan pada dua musim yang berlaku yakni musim hujan (Oktober sampai Mei)

Terlihat bahwa harga air yang dihasilkan oleh instalasi kincir lebih mahal dibanding yang dihasilkan oleh pompa listrik. Dengan demikian pemanfaatan energi angin dengan instalasi kincir untuk penyediaan air tidak menguntungkan dibanding dengan pompa listrik.

## KESIMPULAN

Data kecepatan angin rata-rata per jam dalam setahun yang diterbitkan oleh Stasiun Meteorologi Maritim Makassar, digunakan untuk menganalisis pemanfaatan energi angin berdasarkan atas distribusi fungsi Weibull. Dari analisis dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. kecepatan angin rata-rata dalam setahun 4.42 knot (2.27 m/s), sedang parameter distribusi Weibull yakni faktor bentuk  $k = 1.52$  dan faktor skala  $c = 4.91$  knot. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi angin di Kodya Makassar dan sekitarnya tidak kencang dan terdispersi. Kecepatan angin rata-rata lebih tinggi di musim hujan ( $\langle V \rangle = 4.86$  knot = 2.5 m/s) dibanding musim kemarau ( $\langle V \rangle = 3.97$  knot = 2.04 m/s)
2. dari analisis biaya, harga air yang dihasilkan oleh instalasi kincir lebih besar (Rp. 557.80 / m<sup>3</sup>) dibanding dengan yang dihasilkan oleh pompa listrik (Rp. 123.48/m<sup>3</sup>). Dengan demikian pemanfaatan energi angin dengan instalasi kincir dan pompa untuk wilayah Kodya Makassar dan sekitarnya tidak menguntungkan

## UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada pimpinan Fakultas Teknik Unhas atas biaya melalui dana DPP tahun anggaran 1999/2000 dan Badan Meteorologi dan Geofisika, Balai Wilayah IV, Makassar atas data yang diberikan dalam rangka pelaksanaan studi ini

## DFTAR PUSTAKA

- Abramowitz, M., and Irene, A.I., 1970, *Handbook of Mathematical Functions*, 7<sup>th</sup> ed., pp. 255-257, Dover Publications, Inc., New York
- Stasiun Meteorologi Maritim Makassar, 1999, *Daftar Pengamatan Angin Tiap-Tiap Jam Tahun 1997*, Badan Meteorologi dan Geofisika, Balai Wilayah IV, Departemen Perhubungan, Makassar
- El-Wakil, M.M., 1985, *Powerplant Technology*, 1<sup>st</sup> ed., pp. 589-626, McGraw-Hill Book Co., New York
- Exell, R.H.B., 1982, *Assessing the Availability of Wind Energy in Thailand*, US-Asean Seminar on Energy Technology, LIPI-Bandung Indonesia, 7-8 June 1982, pp.347-365
- Gourieres, D.L., 1982, *Wind Power Plants*, Pergamon Press, Oxford
- Kennedy, J.B., and Neville, A.M., 1976, *Basic Statistical Methods for Engineers and Scientists*, 2<sup>nd</sup> Ed, pp. 345-347, Harper Int. Ed., New York

- Lysen, E.H., 1982, *Introduction to Wind Energy*, 1<sup>st</sup> ed., pp. 37-50, Steering Committee for Wind Energy in Developing Countries, Amsfort, The Netherlands
- Mikhail, A., 1982, *Wind Resource Assessment*, US-Asean Seminar on Energy Technology, LIPI-Bandung Indonesia, 7-8 June, pp.335-346
- United Nations, 1976, *Energy Resources Development Series*, No.16, Proceedings of the Meeting of the Expert Working Group on the Use of Solar and Wind Energy, New York.