

DISTRIBUSI WEIBULL KECEPATAN ANGIN WILAYAH PESISIR TEGAL DAN CILACAP (167A)

Wahyu Widiyanto

*Prodi Teknik Sipil, Universitas Jenderal Soedirman, Jl. Mayjen Sungkono Km 05 Purbalingga
Email: wahyu.widiyanto.ts@gmail.com*

ABSTRAK

Keterbatasan data gelombang untuk keperluan perencanaan bangunan pantai biasanya diatasi dengan membangkitkan data angin. Namun sifat-sifat angin terutama probabilitas kejadiannya belum banyak dibahas dalam hubungan dengan peramalan gelombang. Oleh karena itu dalam makalah ini akan diulas penyebaran probabilitas yang biasa dipakai dalam analisis energi angin yaitu distribusi Weibull. Jenis distribusi ini akan diterapkan untuk menganalisis data angin di Pesisir Tegal dan Cilacap yang masing-masing berada di pesisir utara dan selatan Pulau Jawa. Pada kedua wilayah tersebut diperoleh hasil bahwa probabilitas kecepatan angin mengikuti distribusi probabilitas Weibull dengan cukup baik. Nilai parameter bentuk (k) dan parameter skala (c) berturut-turut untuk Pesisir Tegal adalah $k = 3,10$ dan $c = 1,75$ sedangkan Pesisir Cilacap $k = 3,26$ dan $c = 3,64$. Dengan nilai $k \geq 3$ baik untuk Pesisir Tegal maupun Cilacap mengindikasikan bahwa pada kedua daerah tersebut memiliki sifat angin yang teratur dan tidak mengalami banyak variasi kecepatan terhadap waktu. Perbedaan yang terlihat adalah bahwa nilai parameter skala untuk Pesisir Cilacap (3,6) adalah lebih dari dua kali Pesisir Tegal (1,74). Selain itu juga kecepatan angin rata-rata di Pesisir Cilacap (3,2 m/d) dua kali lebih tinggi dibanding Pesisir Tegal (1,5 m/d).

Kata kunci: distribusi Weibull, angin, gelombang, bangunan pantai, pesisir, Jawa

1. PENDAHULUAN

Angin merupakan salah satu faktor meteorologis yang penting dalam perencanaan dan perancangan bangunan pantai. Gaya tekanan angin merupakan salah satu beban hidup yang bekerja terhadap suatu bangunan. Besar kecilnya beban angin dipengaruhi kecepatan angin yang terjadi. Selain itu angin juga mempengaruhi cara operasi pelabuhan. Bagaimana arah kapal memasuki alur dan kolam labuh harus memperhitungkan arah dan kecepatan angin. Saat bertambat di dermaga, kapal menderita beban angin yang dapat mengarah dari haluan, buritan maupun tegak lurus lambung kapal. Ini akan menyebabkan gaya tarikan kapal pada penambat di dermaga yang harus diperhitungkan sebagai beban terhadap struktur dermaga. Angin yang berhembus ke badan kapal yang ditambat akan menyebabkan gerakan kapal yang bisa menimbulkan gaya pada dermaga. Apabila arah angin menuju dermaga, maka gaya tersebut berupa gaya benturan ke dermaga, sedang jika arahnya meninggalkan dermaga akan menyebabkan gaya tarikan kapal pada alat penambat.

Selain menjadi beban angin terhadap suatu struktur, angin juga berperan mengemudikan arus pantai, mempengaruhi formasi gumpul pantai, sirkulasi polutan dan garam. Namun yang dianggap paling penting adalah peran angin dalam pembangkitan gelombang. Gelombang laut dapat dibangkitkan oleh beberapa hal yaitu angin, pasang surut, gempa, letusan gunung berapi, tanah longsor dan kapal yang bergerak. Di antara pembangkit gelombang tersebut, angin merupakan pembangkit dominan yang sepanjang waktu dapat menimbulkan gelombang. Peramalan tinggi gelombang dapat dilakukan dengan mengolah data angin. Ketersediaan data gelombang di Indonesia relatif sedikit. Penentuan gelombang rencana biasanya dilakukan dengan pembangkitan data gelombang dari data angin khususnya kecepatan dan arah angin. Oleh karena itu pada bagian selanjutnya dari tulisan ini akan dibahas sifat angin terutama kecepatannya.

Beberapa studi telah dilakukan pada penggunaan fungsi kerapatan probabilitas untuk pemodelan kecepatan angin di banyak negara. Di antara fungsi kerapatan tersebut adalah Weibull, Rayleigh, Gamma, Lognormal, Eksponensial, dan Gaussian. Fungsi Weibull digunakan secara luas dalam studi energi angin karena pendekatannya dianggap cocok untuk memodelkan kecepatan angin. Selain itu juga karena cakupannya yang luas dalam keserbagunaan, fleksibilitas dan kemanfaatannya untuk menggambarkan variasi kecepatan angin (Olaofe, 2012). Studi probabilitas kecepatan angin kebanyakan ditujukan untuk analisis energi angin (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu) tetapi dalam makalah ini tidak ditujukan untuk hal itu.

2. DISTRIBUSI WEIBULL

Model probabilitas suatu variabel random X adalah bentuk distribusi probabilitas tertentu yang dianggap mencerminkan tingkah laku X . Harga-harga probabilitas dinyatakan dalam bentuk parameter yang tidak diketahui, yang berkaitan dengan karakteristik populasi dan cara pengambilan sampelnya

Salah satu dari banyak jenis distribusi probabilitas adalah Distribusi Weibull. Distribusi ini diperkenalkan oleh seorang fisikawan Swedia bernama Walodi Weibull pada tahun 1939. Pada suatu keadaan seringkali diperlukan untuk menghitung probabilitas bahwa nilai dari suatu peubah acak (variabel random) X yang diamati akan kurang dari atau sama dengan beberapa bilangan riil x . Peluang sebuah individu X kurang dari atau sama dengan x dinyatakan:

$$P(X \leq x) = F(x) \quad (1)$$

Selanjutnya Weibull (1951) menyatakan jika x adalah variabel random maka sembarang fungsi distribusi dapat ditulis dalam bentuk:

$$F(x) = 1 - e^{-\varphi(x)} \quad (2)$$

Selanjutnya persamaan (2) dijabarkan lebih lanjut menjadi persamaan yang relatif sederhana dibandingkan dengan persamaan distribusi probabilitas jenis lain sebagai berikut:

$$F(x) = 1 - e^{-\frac{(x-x_0)^m}{x}} \quad (3)$$

Fungsi distribusi statistika pada persamaan (3) tersebut oleh Weibull (1951) telah digunakan untuk 7 contoh aplikasi yang luas. Ketujuh contoh aplikasi tersebut meliputi: kuat leleh baja Bofors, distribusi ukuran abu terbang (*fly ash*), kekuatan serat katun, panjang *Cyrtioideae*, umur lelah (*fatigue*) baja tipe St-37, tinggi badan pria dewasa dan ukuran kacang buncis. Kendati disribusi Weibull dipandang oleh beberapa kalangan lemah dari sisi teori namun memiliki kesesuaian yang memuaskan dari sisi empiris. Distribusi ini dipandang cocok untuk diterapkan pada kasus-kasus analisis peluang umur kegagalan dari sesuatu. Belakangan distribusi ini banyak dipakai dalam distribusi probabilitas kecepatan angin seperti dilakukan oleh Olaofe dan Folly (2012), Yilmaz dan Çelik (2008), Ghobadi dkk (2011) dan Youm dkk (2005).

3. DISTRIBUSI WEIBULL UNTUK KECEPATAN ANGIN

Olaofe et.al. (2012) menyatakan bahwa fungsi Weibull merupakan fungsi yang paling banyak digunakan untuk pemodelan kecepatan angin pada suatu tempat tertentu. Dalam fungsi Weibull, variasi kecepatan angin digambarkan dengan menggunakan parameter bentuk dan parameter skala. Fungsi distribusi kumulatif Weibull didefinisikan sebagai:

$$F_w = 1 - \exp \left[- \left(\frac{v}{c} \right)^k \right] \quad (4)$$

Dengan F_w adalah fungsi distribusi kumulatif Weibull, v sebagai kecepatan angin, k adalah parameter bentuk Weibull dan c adalah parameter skala Weibull (m/d). Fungsi densitas probabilitas Weibull untuk distribusi kontinu 2 parameter dapat diturunkan dari persamaan (6) sehingga berbentuk:

$$f_w = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{v}{c} \right)^k \right] \quad (5)$$

Dengan f_w adalah fungsi densitas probabilitas Weibull (pdf). Parameter bentuk yang dilambangkan dengan k menggambarkan keadaan angin (variabilitas dan stabilitas angin). Untuk sebagian besar tempat berangin cukup, harga k berkisar antara 1,51 s.d. 1,99. Harga k yang lebih kecil lagi ($k \leq 1,5$) berhubungan dengan variabilitas angin yang tinggi atau angin dengan hembusan kuat sedangkan $k = 2$ berkaitan dengan angin moderat dan $k \geq 3$ angin reguler dan mantap.

Terdapat beberapa metode untuk memperkirakan nilai k . Dalam studi ini nilai k diperoleh dari metode kemungkinan maksimum (*Maximum Likelihood*) (Seguro dan Lambert (2000) dalam Ghobadi et.al (2011) dengan persamaan sebagai berikut:

$$k = \left(\frac{\delta}{\bar{v}} \right)^{-1,086} \quad (1 \leq k \leq 10) \quad (6)$$

dengan \bar{v} adalah kecepatan angin rata-rata yang dinyatakan:

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n v_i \quad (7)$$

dan d adalah deviasi standar yang merupakan akar dari varians.

$$d^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=0}^n (v_i - \bar{v})^2 \quad (8)$$

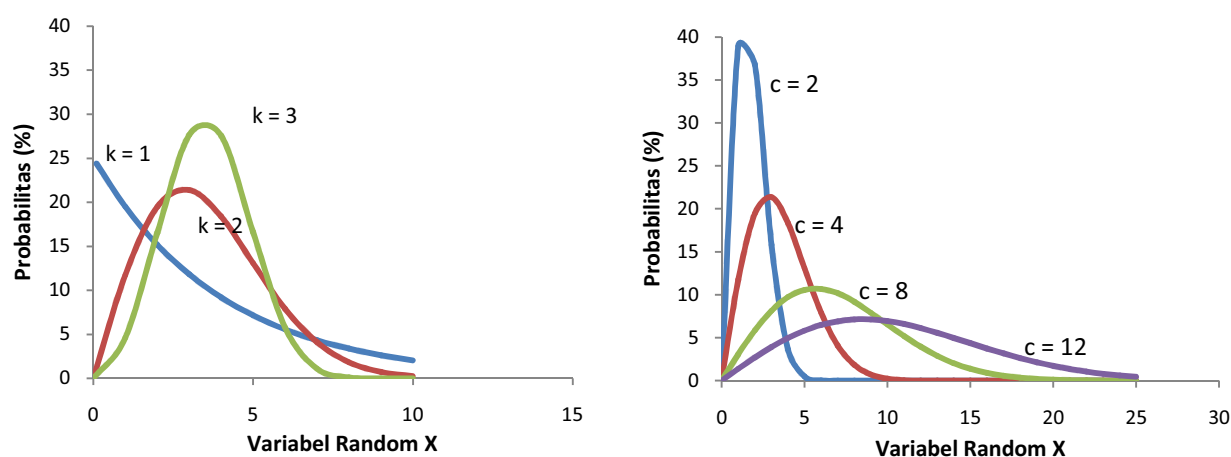
Ketika nilai parameter bentuk telah diperoleh maka dapat dihitung nilai parameter skala dengan persamaan:

$$c = \left(\frac{\sum_{i=0}^n v_i^k}{n} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (9)$$

Dengan c adalah parameter skala dari distribusi Weibull.

Gambaran tentang pengaruh nilai k dan c terhadap karakteristik distribusi Weibull dapat dilihat pada Gambar 1. Pada Gambar 1(a) terdapat 3 kurva dengan nilai c yang sama namun nilai k berbeda. Nilai $k = 1$ menampilkan kurva yang asimtotis dengan sumbu horisontal dan vertikal karena berupa persamaan eksponensial. Pada kondisi ini distribusi menjadi bentuk distribusi Eksponensial. Sedangkan untuk nilai $k = 2$ menyebabkan distribusi menjadi jenis distribusi Rayleigh. Distribusi Rayleigh juga merupakan distribusi yang dianggap sesuai untuk menggambarkan distribusi kecepatan angin namun tidak dibahas dalam makalah ini.

Pada Gambar 1 (b) terdapat 4 kurva yang dibuat dari nilai k yang sama tetapi dengan nilai c yang berbeda. Nilai c semakin kecil maka kurva semakin runcing. Bentuk dasar dari kurva relatif sama namun ukuran (skala) dari kurva berbeda.



Gambar 1. Pengaruh nilai k dan c terhadap karakteristik distribusi Weibull

4. DATA ANGIN

Data angin yang diolah dalam studi ini diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) stasiun Tegal dan Cilacap dengan lokasi seperti ditunjukkan oleh Gambar 1. Pemilihan lokasi ini diambil dengan pertimbangan masing-masing lokasi berbeda secara geografis dan meteorologis. Dimana sejauh ini dikenal Pantai Selatan Jawa memiliki gelombang laut yang lebih tinggi dibandingkan pantai utara. Dalam makalah ini, untuk Pesisir Selatan Jawa diwakili oleh data dari stasiun BMKG Cilacap selama dua tahun yaitu mulai Juni 2009 s.d. Mei 2010 ditambah dengan data dari bulan Januari hingga Desember 2011. Sedangkan untuk Pesisir Utara Jawa diwakili oleh data dari Stasiun BMKG Tegal tahun 2010 dan 2011. Dari kedua stasiun tersebut diperoleh data berupa kecepatan, lama hembus dan arah angin. Meskipun lama hembus dan arah angin merupakan data yang penting dalam pembangkitan data gelombang dari data angin, dalam makalah ini yang diolah hanya data kecepatan karena data itu merupakan variabel random yang akan dicari peluang terjadinya melalui distribusi Weibull.



Gambar 2. Lokasi pengukuran angin

Contoh rekaman data kecepatan angin dari Stasiun BMKG dapat dilihat pada Tabel 1. Pada tabel tersebut satuan kecepatan adalah knot.

Tabel 1. Rekaman kecepatan angin pesisir Cilacap bulan Juni 2011

Tanggal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Kecepatan	10	12	10	6	8	5	8	10	6	8	8	8	10	12	12
Tanggal	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Kecepatan	8	8	10	8	12	12	9	16	10	6	12	8	8	12	12

5. KECEPATAN ANGIN

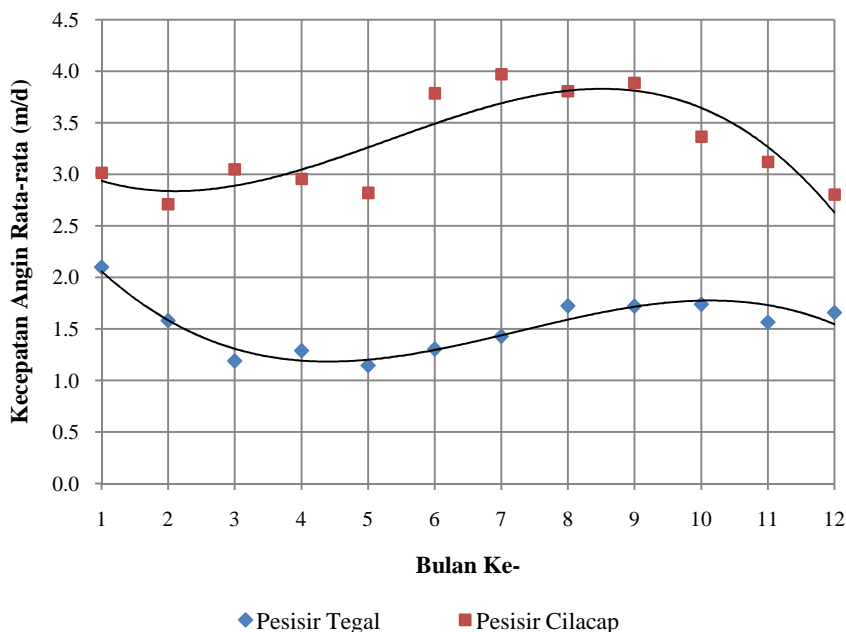
Angin tergantung pada matahari dan musim. Acapkali sifat angin dinyatakan dengan merata-ratakan data bulanan sepanjang tahun untuk mendapatkan gambaran kekuatan angin pada suatu lokasi. Dari data yang diperoleh dapat ditentukan kecepatan angin minimum, maksimum dan rata-rata setiap bulannya (Tabel 2).

Tabel 2. Kecepatan angin rata-rata di Stasiun BMKG Cilacap dan Tegal

Bulan	Tegal 2009 s.d. 2010			Bulan	Cilacap 2009 s.d. 2011		
	V_{\min} (m/d)	V_{\max} (m/d)	Rata-rata (m/d)		V_{\min} (m/d)	V_{\max} (m/d)	Rata-rata (m/d)
Jan	1,117	4,023	2,098	Jan	1,788	4,916	3,016
Feb	0,894	3,129	1,580	Feb	0,894	5,363	2,711
Mar	0,894	1,788	1,189	Mar	1,564	4,916	3,049
Apr	0,670	2,235	1,289	Apr	1,341	6,257	2,957
Mei	0,670	2,011	1,146	Mei	1,341	4,916	2,819
Jun	0,670	2,235	1,304	Jun	2,011	6,257	3,784
Jul	0,894	2,235	1,427	Jul	2,235	5,810	3,972
Agu	1,117	2,458	1,723	Agu	2,235	6,257	3,806
Sep	0,670	2,682	1,721	Sep	2,235	5,363	3,888
Okt	1,117	2,682	1,737	Okt	1,341	5,140	3,367
Nov	0,894	2,905	1,564	Nov	1,564	4,469	3,121
Des	1,117	2,682	1,658	Des	1,341	5,587	2,804

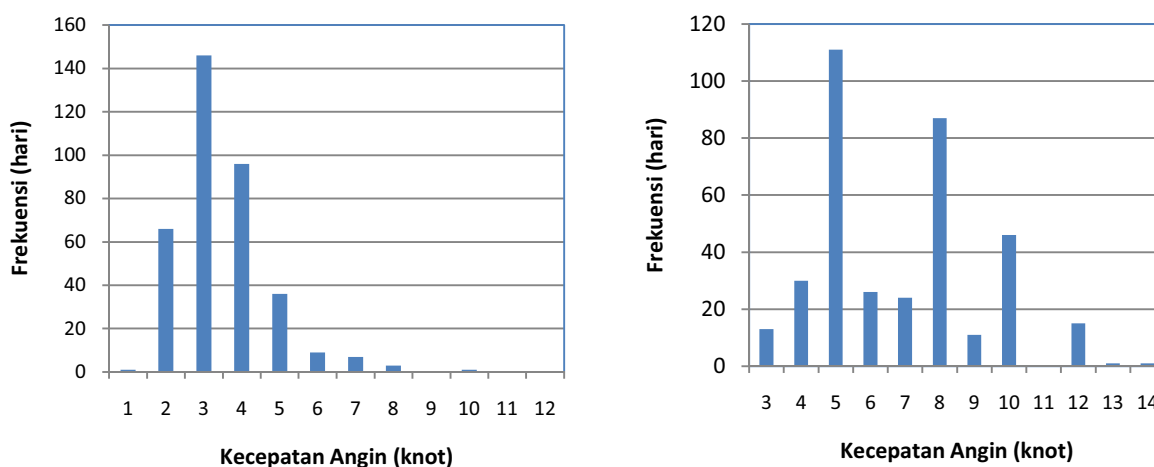
Kecepatan angin merupakan faktor yang perlu diperhitungkan karena berpengaruh terhadap gaya dan energi angin. Pesisir Tegal dan Pesisir Cilacap memiliki kecepatan angin yang relatif berbeda. Berdasarkan data tahun 2009 – 2011, kisaran kecepatan angin harian di Pesisir Tegal adalah 0,5 s.d. 4,5 m/d dengan rata-rata 1,6 m/d. Sedangkan di Pantai Cilacap lebih tinggi yaitu berkisar 1,3 s.d. 8,0 m/d dengan rata-rata 3,3 m/d. Rerata kecepatan angin dari

bulan ke bulan di Pesisir Cilacap juga lebih tinggi dibandingkan dengan Pesisir Tegal. Gambar 3 menunjukkan perbedaan kecepatan rata-rata bulanan di kedua wilayah pesisir yang ditinjau. Dari gambar tersebut terlihat juga waktu kejadian angin-angin maksimum di kedua wilayah yang tidak sama. Pesisir Tegal mengalami angin-angin maksimum di bulan Oktober s.d. Januari (musim hujan) sedangkan Pesisir Cilacap lebih awal yaitu bulan Juni s.d. September. Untuk kecepatan angin minimum terjadi bulan Maret s.d. Juni (musim kemarau) untuk Pesisir Tegal dan bulan Januari s.d Mei untuk Pesisir Cilacap. Kecepatan angin rerata bulanan menunjukkan kecenderungan kecepatan angin sepanjang tahun.



Gambar 3. Kecepatan angin rata-rata Pesisir Tegal dan Pesisir Cilacap

Frekuensi kejadian angin merupakan hal yang penting mengingat kecepatan angin yang terjadi bervariasi dari waktu ke waktu. Gambar 4 memperlihatkan hal ini, dimana frekuensi angin yang paling sering terjadi adalah 3 knot untuk Pesisir Tegal (hampir 150 hari) dan 5 knot untuk Pesisir Cilacap (sekitar 110 hari). Kedua kecepatan angin tersebut terjadi kira-kira 1/3 dari hari-hari dalam setahun. Kecepatan masih dinyatakan dalam knot sesuai satuan yang dipakai dalam pengukuran oleh BMKG.



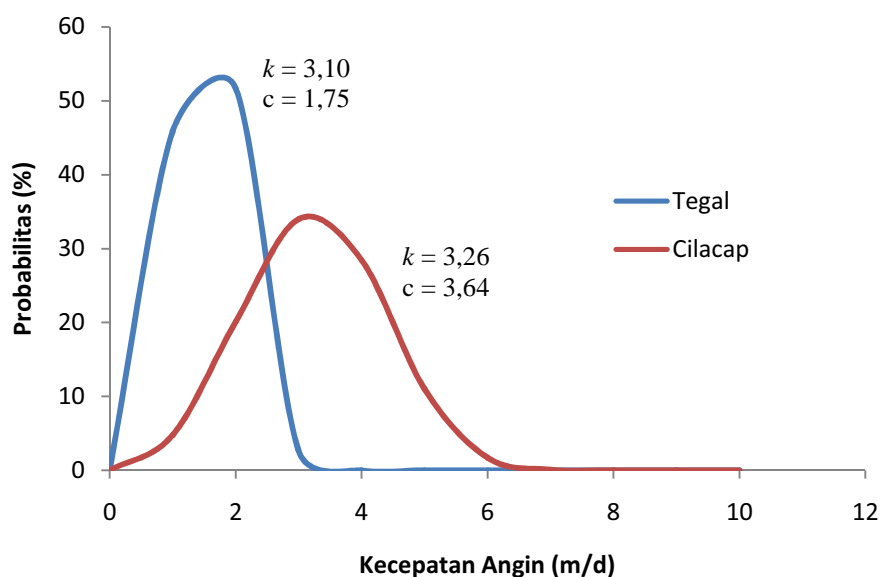
Gambar 4 Frekuensi kejadian angin di Pantai Tegal dan Pantai Cilacap

Distribusi kecepatan angin pada Gambar 4 dapat menunjukkan jumlah hari pada kecepatan angin yang diberikan. Frekuensi yang lebih tinggi menunjukkan kecepatan angin yang paling sering terjadi. Hal ini mungkin saja berbeda nilainya dengan rata-rata kecepatan angin.

6. PROBABILITAS BERDASARKAN DISTRIBUSI WEIBULL

Variasi kecepatan angin selama suatu periode dapat dijelaskan dengan teori fungsi distribusi probabilitas Weibull. Proses untuk mendapatkan kurva distribusi probabilitas Weibull dimulai dengan mencari nilai rata-rata kecepatan (\bar{v}) dan deviasi standarnya (d). Dari parameter ini dapat dihitung parameter bentuk (k) dengan menggunakan Persamaan 6. Jika nilai k telah diperoleh maka selanjutnya nilai c dapat dihitung dengan memakai Persamaan 9.

Dengan diketahuinya kedua parameter tersebut maka dapat digambarkan kurva distribusi probabilitas Weibull dengan bantuan Persamaan 5. Hasil analisis data menunjukkan bahwa untuk Pesisir Tegal diperoleh nilai $k = 3,10$ dan $c = 1,75$ m/d sedangkan pesisir Cilacap didapatkan nilai $k = 3,26$ dan $c = 3,64$ m/d. Dalam hal ini yang bertindak sebagai variabel random kontinu adalah kecepatan angin. Oleh karena itu kecepatan angin diplot dalam sumbu horisontal dan probabilitas kejadiannya diplot dalam sumbu vertikal sehingga tersaji Gambar 5.



Gambar 5. Distribusi probabilitas Weibull untuk kecepatan angin di Pesisir Tegal dan Cilacap

Harga $k < 2$ mengindikasikan deviasi yang lebih besar dari rata-rata kecepatan angin sementara harga $k > 2$ mengindikasikan variasi yang kecil dari kecepatan angin rata-rata. Ketika nilai k meningkat, kurva probabilitas menyempit menunjukkan adanya variasi yang kecil dari kecepatan angin. Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa di pesisir Tegal kecepatan angin 1,5 s,d 2,0 m/d merupakan kecepatan yang paling sering terjadi dengan persentase kejadian di atas 50%. Terlihat juga untuk kecepatan lebih dari 3 m/d jarang terjadi di Pesisir Tegal. Hal ini berbeda dengan Pesisir Cilacap dimana angka 3 m/d justeru merupakan kecepatan yang paling sering terjadi di Pesisir Cilacap yaitu dengan probabilitas 35%.

7. KESIMPULAN

Sifat kecepatan angin di Pesisir Utara dan Selatan Pulau Jawa menunjukkan beberapa perbedaan. Analisis untuk menggambarkan distribusi probabilitas Weibull menghasilkan nilai parameter bentuk (k) dan parameter skala (c) berturut-turut untuk Pesisir Tegal adalah $k = 3,10$ dan $c = 1,75$ sedangkan Pesisir Cilacap $k = 3,26$ dan $c = 3,64$. Nilai $k \geq 3$ yang diperoleh baik untuk Pesisir Tegal maupun Cilacap mengindikasikan bahwa pada kedua daerah tersebut memiliki sifat angin yang teratur/reguler dan mantap. Perbedaan yang terlihat adalah bahwa nilai parameter skala untuk Pesisir Cilacap (3,64) adalah lebih dari dua kali Pesisir Tegal (1,75). Selain itu juga kecepatan angin rata-rata di Pesisir Cilacap (3,3 m/d) dua kali lebih tinggi dibanding Pesisir Tegal (1,6 m/d). Dilihat dari harga c maka Pesisir Cilacap lebih banyak terjadi angin-angin kencang dibandingkan dengan Pesisir Tegal. Kurva distribusi probabilitas Weibull memperlihatkan bahwa kecepatan angin 1,75 m/d memiliki peluang tertinggi terjadi di Pesisir Tegal sedangkan kecepatan angin 3 m/d mempunyai peluang tertinggi terjadi di Pesisir Cilacap.

DAFTAR PUSTAKA

- Olaofe, Z.O., Folly, K.A., (2012). "Statistical Analisis of the Wind Resources at Darling for Energy Production". *International Journal of Renewable Energy Research*, Vol. 2 No. 2.
- Yilmaz, V., Çelik, H.E., (2008) "A Statistical Approach to Estimate the Wind Speed Distribution: The Case of Gelibolu Region". *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 9 (1), 122-132
- Ghobadi, G.J., Gholizadeh, B., Soltani, B., (2011). "Statistical evaluation of wind speed and energy potential for the construction of a power plant in Baladeh, Nur, Northern Iran", *International Journal of the Physical Sciences* Vol. 6(19), pp. 4621-4628,
- Youm, I., Sarr, J., Sall, M., Ndiaye, A. and Kane, M.M., (2005). "Analysis of wind data and wind energy potential along the northern coast of Senegal", *Rev. Energ. Ren. Vol. 8 hal 95 - 108*
- Weibull, W., (1951). "A Statistical Distribution Function of Wide Applicability", *Journal of Applied Mechanics*, 293 – 297.