

Permodelan Ombak-Angin Menggunakan Spektra Jonswap

Othman bin A. Karim

ABSTRAK

Kebanyakan ramalan dan jangkaan ciri-ciri ombak adalah terhasil dari maklumat-maklumat angin. Kebelakangan ini banyak model ombak-angin telah dihasilkan. Kertas ini melaporkan analisa formulasi model ombak-angin yang menggunakan perhubungan 'JONSWAP' bagi spektra ombak yang terhasil dari kelajuan angin serta jarak ambilan ombak yang diketahui. Teori-teori yang digunakan di dalam model dibincangkan beserta analisa statistik antara nilai-nilai yang diperolehi dari model dengan data-data lapangan. Dari analisa yang dijalankan didapati wujud perkaitan yang agak baik di antara nilai-nilai tersebut iaitu dalam julat 80 ke 90 peratus. Walau bagaimanapun ujian penyemakan selanjutnya perlu dilakukan sebelum keseluruhan penge-sahan model ini adalah lengkap.

ABSTRACT

Wave forecasts and hindcasts are almost universally derived from wind field. Numerous wind-wave models have been developed in recent years. This paper reports the analysis of wind-wave model incorporating the formulation based on 'JONSWAP' relationships for wave spectra, resulting from a given wind speed and wave fetch. The theories that apply to wind-wave model are described along with the statistical analysis between the hindcasted values and the measured data available. From the analysis, it appeared that JONSWAP model produces a good degree of correlation, ranging from 80 to 90 percent. However, further validation tests have to be conducted on the model before overall verification of the applicability of the model is complete.

PENGENALAN

Masalah hakisan pantai di seluruh dunia menjadi semakin runcing apabila darjah proses hakisan pantai meningkat tinggi. Banyak faktor telah dikaitkan dengan fenomena ini, antaranya kenaikan aras laut disebabkan oleh kenaikan suhu benua dan perancangan struktur pantai yang tidak teratur. Walau apa jua sebabnya, yang nyata ialah hakisan telah mengakibatkan banyak kerosakan dan kerugian pada harta-benda orang awam dan persendirian, kemusnahan kawasan pertanian dan hutan paya-bakau, kerosakan pada sistem pengangkutan dan pantai rekreasi. Ekoran dari itu agensi-agensi baik dari badan kerajaan mahupun pihak swasta, yang terlibat dengan pantai merasakan amat penting untuk mengkaji dan memahami persekitaran pantai. Malangnya, kajian dan pemahaman mengenainya pada masa ini agak terbatas kerana kurangnya data yang sistematis diambil di bahagian pantai.

Antara unsur yang penting dalam usaha ini ialah memahami ciri-ciri iklim ombak itu sendiri yang antaranya termasuklah mengetahui ketinggian ombak (H), panjang ombak (L), dan seterusnya daya (F) yang dikenakan oleh ombak terhadap persisiran pantai. Pengukuran data-data ombak secara terus adalah lebih tepat tetapi ianya memerlukan perbelanjaan yang agak besar kerana ia melibatkan penggunaan alat yang canggih dan mahal. Oleh itu adalah lebih menjimatkan untuk menggunakan kelajuan dan arah angin yang direkodkan secara lazim dan berterusan di kawasan yang berhampiran dengan kawasan pantai dan seterusnya menggunakan perhubungan ombak-angin untuk mendapatkan ciri-ciri ombak yang diperlukan.

Banyak perhubungan ombak-angin telah dihasilkan oleh para penye lidik antaranya perhubungan SMB (Sverdrup, Munk, Brestchneider), PNJ (Pierson, Neuman dan James), PM (Pierson & Moskowitz) dan yang paling terkini adalah kaedah JONSWAP (Joint North Sea Wave Projects) (US Army Coastal Engineering Research Center 1984). Kertas ini akan membincangkan penggunaan spektra JONSWAP dalam model ombak-angin.

TATACARA PERMODELAN ANGIN-OMBAK MENGGUNAKAN SPEKTRA JONSWAP

Model ini memerlukan masukan data angin dalam bentuk halaju dan arah ia bertiup yang direkodkan setiap 3 jam. Data ini dimasukkan dalam

| Arah mata angin/ Kompas | Jarak Ambilan (meter) |
|----------------------------|--------------------------|
| U (1) | 73990.0 |
| UTL (2) | 54494.0 |
| TL (3) | 24760.0 |
| TTL (4) | 18724.0 |
| T (5) | 17516.0 |
| TTg. (6) | 22952.0 |
| Tg. (7) | 18422.0 |
| STg. (8) | 24160.0 |
| S (9) | 19328.0 |
| SBD (10) | 24160.0 |
| BD (11) | 35032.0 |
| BBD (12) | 60702.0 |
| B (13) | 175160.0 |
| BBL (14) | 176368.0 |
| BL (15) | 98150.0 |
| UBL (16) | 154020.0 |

JADUAL 1. Arah mata angin/kompas dan nilai-nilai ambilan di Liverpool

format lapan pasang data pada tiap-tiap baris (iaitu pasangan ukuran kelajuan dan arah angin). Oleh itu setiap baris mewakili rekod bagi tempoh 24 jam atau satu hari (8 pasang \times 3 jam/pasang). Oleh itu bagi tempoh satu tahun terdapat 2920 pasang data (365 hari \times 8 pasang data/hari) halaju dan arah angin. Arah angin dicatatkan dalam bilangan nombor dari 1 (mewakili Utara) ke 16 (mewakili Utara Barat Laut) mengikut pusingan arah jam dan tiap-tiap satu julat bersudut 22.5° . Sifar mewakili keadaan tenang (Jadual 1). Kelajuan angin dicatat dalam knot (1 knot $\approx 0.5 \text{ m/s}$).

Bagi tiap-tiap 2920 data tersebut, pengiraan berikut dilakukan untuk memperolehi statistik ombak jangka-panjang:

1. Ombak yang dijana oleh angin menunjukkan sifat hampar dari purata arah ia merambat (θ_0). Oleh itu pengiraan spektra ombak JONSWAP dilakukan dengan mengambil kira 7 arah iaitu 3 arah dari kiri dan kanan arah rambatan θ_0 . Kelajuan angin bagi tiap-tiap komponen arah diambil sebagai $U_i = U \cos(\theta_i - \theta_0)$. Spektra JONSWAP bagi arah i mempunyai ketumpatan tenaga, E_i , dinyatakan sebagai fungsi frekuensi $f(\text{Hz})$ seperti berikut:

$$E_i(f) = ag^2(2\pi)^{-4}f^{-5}\exp\left[-1.25\left(\frac{f}{f_m}\right)^{-4}\right]\gamma^N \quad (1)$$

di mana:

$$a = \text{parameter Spektra JONSWAP} = 0.032\left[f_m \frac{U_i}{g}\right]^{2/3}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\gamma = \text{angkatap Spektra JONSWAP} = 3.3$$

$$N = \exp\left[-\frac{(f - f_m)^2}{(2f_m^2 \sigma^2)}\right]$$

$$\sigma = 0.07 \text{ bagi } f < f_m$$

$$0.09 \text{ bagi } f > f_m$$

$$f_m = \text{puncak frekuensi}$$

$$= 2.48 g^{0.7} F_i^{-0.3} U_i^{0.4} \quad (2)$$

F_i = nilai terkecil di antara jarak ambilan (*fetch*) dalam arah i dari daratan dan ambilan setara F_i^* yang diberikan oleh persamaan (7)

2. Tiap-tiap spektra arah ini didharabkan dengan pekali hamparan, $\left(\frac{2}{\pi} \cos^2 \theta\right)$ dan tenaga dari 7 arah tadi dijumlahkan untuk mendapatkan jumlah tenaga spektra.

$$E(f) = \left(\frac{2}{\pi}\right) \sum_{i=1}^7 E_i(f) \cos^2(\theta_i - \theta_0) \Delta\theta \quad (3)$$

dari mana nilai Ketinggian Ombak berkesan H_s dan Tempoh Ombak melintas titik sifar T_z , boleh ditentukan:

$$H_s = 4\sqrt{m_0} \quad (4)$$

$$T_z = \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \quad (5)$$

$$\text{di mana momen spektra } m_n = \int E(f) f^n \quad (6)$$

Pengiraan menggunakan persamaan (4) – (6) melibatkan pengamalan berangka dan bagi tujuan ini langkah frekuensi (Δf) 0.01 radian per saat digunakan bagi nilai f di bawah 2 rad/saat manakala 0.1 rad/saat digunakan bagi julat $f = 2$ ke 4.5 rad/saat. Kaedah Segiempat-tepat Mudah digunakan dalam proses pengamalan.

3. Bagi arah yang seterusnya, datum tenaga dari penjanaan ombak yang sebelumnya dicari iaitu dengan menjumlahkan tenaga bagi komponen-komponen arah yang bertindan dengan komponen-komponen arah yang baru dan ini dipanggil ketumpatan tenaga berkesan, E_{k-1}^* . Kemudian dengan menggunakan arah dan halaju angin yang baru ‘tempoh ribut setara’ t^* ditentukan secara “cuba dan ralat” supaya ketumpatan tenaga, E_k bersamaan dengan ketumpatan tenaga berkesan E_{k-1}^* . Sekiranya tidak ada komponen-komponen arah angin yang bertindan maka ‘tempoh ribut setara’ diberi nilai sifar iaitu satu keadaan di mana ribut dikatakan terhenti. Tempoh ribut yang baru, t , ialah tempoh ribut setara ditambah dengan tiga jam ($t = t^* + 3$). Ambilan setara, F_i^* dikira dengan menggunakan persamaan berikut:

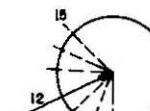
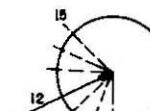
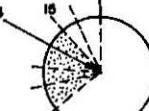
$$F_i^* = 0.00875t^{1.298} g^{0.298} U^{0.702} \quad (7)$$

Dengan menggunakan nilai yang lebih kecil di antara ambilan setara, F_i^* dan F_i , langkah (i) dan (ii) diulang untuk mendapatkan ketumpatan tenaga ombak dan seterusnya nilai H_s dan T_z bagi jendela angin yang baru diperolehi.

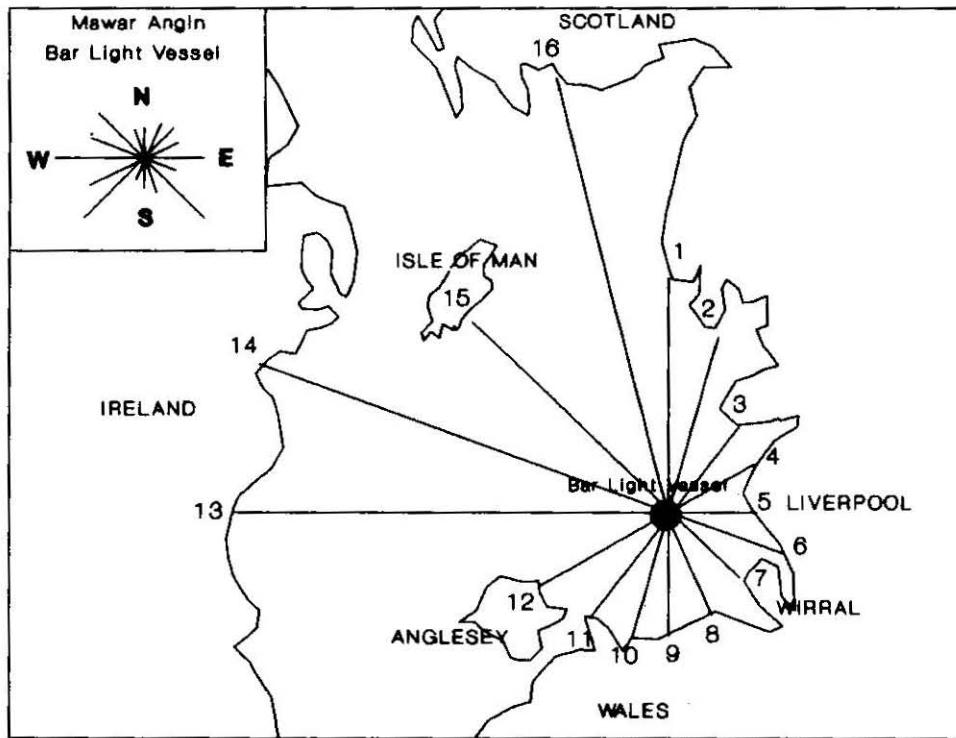
Contoh bagi langkah-langkah pengiraan (i) – (iii) diringkaskan dalam Rajah 1. Oleh kerana langkah-langkah ini melibatkan pengamalan berangka serta lelaran yang banyak maka pengiraan bagi model ini dilakukan dengan bantuan komputer menggunakan bahasa FORTRAN. Pemplotan bagi graf-graf dan analisa statistik serakan pula dibuat dengan menggunakan perisian GINO (Graphical Input Output) dan SPSSX (Statistical Packages for Social Sciences Extended).

PENGESAHAN MODEL

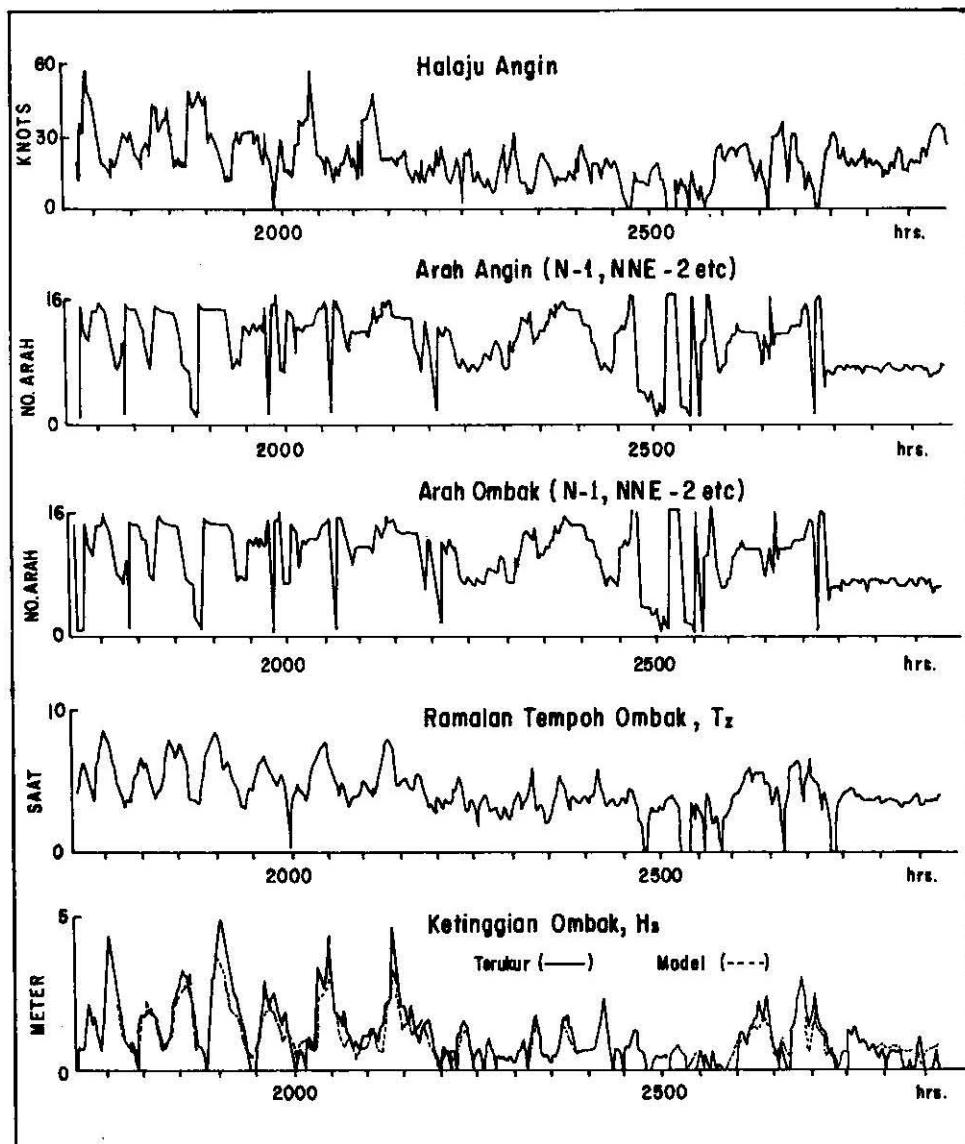
Kaedah yang paling baik untuk menentukan ketepatan sesuatu model ialah dengan membandingkan keputusan yang diperolehi dari model dengan data lapangan. Bagi tujuan ini model JONSWAP digunakan untuk mendapatkan ciri-ciri ombak bagi kawasan Liverpool, England. Data angin yang digunakan adalah untuk tahun 1965–66 bermula dari Sept. 1965. Keputusan yang diperolehi dari model kemudiannya dibandingkan dengan data-data lapangan yang telah dikumpulkan oleh Draper dan Blackley (1969) dari Bidston (Rajah 2).

| Masa (jam) | 0 | Jeda Masa k = 1 | 3 | k = 2 | 6 | k = 3 | 9 |
|---|--------------------------|---|--|--|--|---------|---|
| Datum Tenaga dari penjanaan ombak sebelumnya | | | $\int E_1^* = \sum_{i=11}^{15} E_i(f).D(\theta) ... Ps [3]$ | | $\int E_1^* = \sum_{i=14}^1 E_i(f).D(\theta) ... Ps [3]$ | | |
| Langkah [iii] | | | (i.e. Penjumlahan Tenaga dari kesemua Arah dalam medan Angin baru)  | | | | |
| Data Angin U_i, θ_i Langkah [i] | |  |  |  | | | |
| Penaksiran 'Tempoh Ribut Setara' bagi menentukan Ambilan Setara. | | $t_{k=1} = 3 \text{ jam (Pada penghujung jeda)}$ $F_1^* = f(U, \theta, t) ... Ps. [7]$ | Bagi U_2, θ_{02} , anggarkan hasilan t : iaitu $\int E_{k=2} = \frac{1}{11} E_i(f).D(\theta)$ | Bagi U_3, θ_{03} , anggarkan hasilan t : iaitu $\int E_{k=3} = \frac{4}{14} E_i(f).D(\theta)$ berpadanan dengan $E_{k-1}^*(f)$ di atas $\rightarrow t_k = t^* + 3 \text{ jam}$ Kemudian tentukan F_1^* | | | |
| Pengiraan Spektrum Laut dan Statistik ombak pada penghujung Jeda Masa | | $E_i(f) = Ps [3]$ $E(f) = \frac{15}{9} E_i(f).D(\theta) Ps 2.6$ | $E_1(f) = Ps [3]$ menggunakan nilai F_1 dan F_1^* yang lebih kecil $E(f) = \frac{1}{11} E_i(f).D(\theta)$ | | | -ULANG- | |
| Langkah [ii] | $H_s = 0.$ $T_x = 0.$ | $H_s = Ps [4]$ $T_x = Ps [5]$ | $H_s = 1$ $T_x = 1$ | $H_s = 2$ $T_x = 2$ | $H_s = 2$ $T_x = 2$ | | |

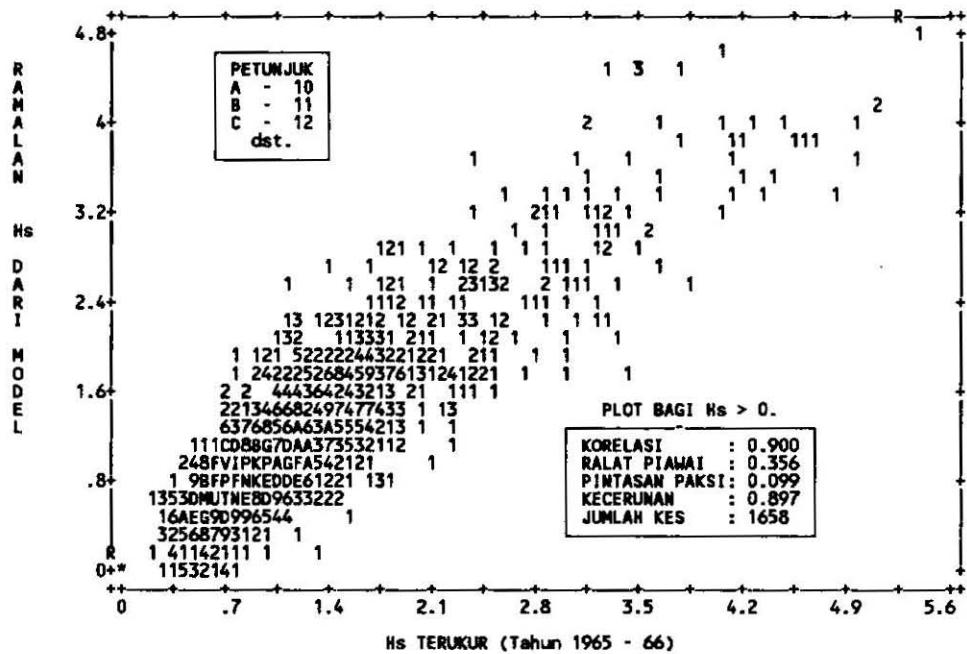
RAJAH 1. Contoh pengiraan model JONSWAP



RAJAH 2. Lokasi pengukuran data dan mawar angin bagi Liverpool Bay



RAJAH 3. Plot data-data angin dan sintesis ciri-ciri ombak



RAJAH 4. Serakan analisa model Ombak-Angin JONSWAP

Rajah 3 menunjukkan contoh pemplotan bagi data angin dan sintesis ciri-ciri ombak. Nilai yang diperolehi dari model kelihatan hampir-hampir menyamai data lapangan. Kualiti plot ini kemudian ditentukan secara statistik dengan menggunakan analisa serakan seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 4.

Draper dan Blackley melaporkan bahawa peralatan yang digunakan untuk merekodkan data ombak tidak dapat mengesan ombak yang mempunyai ketinggian yang terlalu kecil serta tempoh ombak yang kurang dari 3.5 saat. Bagi kes-kes seperti ini alat pengukur akan merekodkan nilai sifar (iaitu satu keadaan tenang – walaupun pada hakikatnya tidak). Untuk mendapatkan analisa statistik yang lebih tepat ujian serakan dilakukan dengan nilai kes-kes berikut:

1. Kesemua kes ketinggian ombak (2920 data)
2. Kes di mana $H_s > 0.00$ sahaja
3. Arah angin 11 – 16 iaitu arah utama di mana jarak ambilan adalah lebih besar (Rajah 2)
4. Lain-lain arah angin 1 – 10.

Analisa bagi tempoh ombak pula dilakukan bagi kes-kes di mana $T_z > 3.5$ saat sahaja. Ringkasan analisa statistik ditunjukkan dalam Jadual 2.

JADUAL 2. Ringkasan statistik serakan bagi H_s dan T_z

| ARAH KOMPAS | KORELASI | RALAT PIAWAI | KECERUNAN | PINTASAN PAKSI |
|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 0 - 17 | 0.884 | 0.332 | 0.776 | 0.323 |
| 1 - 17 | 0.900 (0.694) | 0.356 (0.539) | 0.897 (0.550) | 0.099 (1.408) |
| 11 - 16 | 0.866 (0.692) | 0.411 (0.544) | 0.839 (0.544) | 0.259 (1.450) |
| 1 - 10 | 0.735 | 0.213 | 0.621 | 0.252 |

(Nombor dalam () merupakan statistik bagi T_z)

PERBINCANGAN DAN KESIMPULAN

Dari Jadual 2 dapat dilihat bahawa keputusan yang diperolehi dari model memberikan korelasi yang tinggi apabila dibandingkan dengan nilai lapangan iaitu 0.900 dan kecerunan 0.897 (Korelasi = 1.000 dan kecerunan = 1.000 mewakili perbandingan sempurna). Bagi ujian (a) nilai korelasi dan kecerunan berkurangan kepada 0.884 dan 0.323. Ini bertepatan dengan dakwaan Draper dan Blackley bahawa terdapat beberapa kes di mana nilai lapangan H_s dicatatkan sebagai sifar sedangkan pada hakikatnya terdapat ombak kecil. Dari ujian (c) dan (d) arah utama angin, 11 – 16 mempunyai korelasi yang lebih tinggi kerana jarak ambilan adalah besar dan ini membolehkan penjanaan ombak yang lebih besar dan dapat dikesan oleh alat pengukur ombak. Sebaliknya bagi arah 1–10 ombak yang lebih kecil terbentuk dan ralat pada alat pengukur ombak adalah lebih

besar. Perbandingan nilai T_z secara keseluruhan adalah tidak berapa baik seperti yang dijangkakan kerana kelemahan kejituhan alat pengukur ombak.

Pada peringkat ini adalah terlalu awal untuk mengatakan bahawa model ini sesuai digunakan bagi meramalkan ciri-ciri ombak sebenar dengan tepat. Namun demikian model ombak-angin scumpama ini masih merupakan satu alternatif yang baik kepada kaedah pengukuran terus kerana ianya tidak melibatkan belanja yang besar. Sehingga model ini mencapai tahap kesempurnaan langkah berjaga-berjaga perlu diambil supaya tidak berlaku keadaan di mana nilai yang diperolehi adalah jauh terlalu rendah daripada nilai sebenar. Sekiranya ini berlaku dan nilai tersebut kemudian digunakan pula untuk merekabentuk sesuatu struktur perlindungan pantai maka pastinya struktur tersebut akan mengalami kegagalan. Ini akan mengakibatkan kerugian yang lebih besar dari perbelanjaan yang diperlukan untuk pengumpulan data lapangan. Ini mungkin boleh diatasi dengan mengenakan faktor keselamatan ke atas setiap nilai H_s dan T_z yang diperolehi dari model.

Sehubungan dengan itu juga lebih banyak ujian perlu dijalankan untuk menjamin dan membaiki ketepatan model, antaranya termasuklah:

1. Membandingkan lebih banyak data-data lapangan (yang tepat) untuk memastikan kekonsistenan keputusan dari model.
2. Membandingkan dengan keputusan model yang menggunakan pekali hampar kosine kuasa 6 (iaitu dengan mendharabkan pekali $\frac{15}{6\pi}$ menggantikan $\cos^6 \theta$ pekali hampar kosine ganda dua yang digunakan di dalam model JONSWAP seperti yang dilaporkan oleh Hawkes (1987).
3. Menjalankan perbandingan dengan keputusan yang diperolehi menerusi model yang menggunakan kaedah SMB (Dickinson 1986).
4. Menambahkan kejituhan model dengan menggunakan kaedah pengamilan yang lebih tepat (menggantikan kaedah Segiempat-tepat Mudah) dan membaiki sensitiviti pengiraan dengan menggunakan langkah frekuensi Δf yang lebih sesuai.

RUJUKAN

- U.S. Army Coastal Engineering Research Center. 1984. *Shore Protection Manual*. Washington D.C: U.S. Government Printing Office.
- A. Karim O. 1988. Wind-Wave Modelling Incorporating JONSWAP Spectrum. M. Sc (Eng) Dissertation, Dept. Of Civil Engineering, U. of Liverpool.
- Draper L. & Blackley A. 1969. Waves at Mersey Bar Light Vessel, Internal Report No. A37. Wormley: National Institute of Oceanography.
- Hawkes T.J. 1987. A wave hindcasting model. *Proc. SUT Conf. on Modelling the Offshore Environment*. London.
- Dickinson P.J. 1986. Wind/Wave Analysis and Storm Categorization for Liverpool Bay. M.Sc (Eng) Dissertation, Dept. of Civil Engineering, U. of Liverpool.