

PENILAIAN KESESUAIAN PERAIRAN UNTUK BUDIDAYA IKAN DALAM KERAMBA JARING APUNG BERDASARKAN MODEL SPASIAL PROPAGASI OMBAK MENDEKATI PANTAI

Tarunamulia^{*)}, Jesmond Sammut^{**)}, dan Rachmansyah^{*)}

Balai Riset Perikanan Budidaya Air Payau
Jl. Makmur Dg. Sitakka-Maros, Sulawesi Selatan 9051
Email: tarunamulia@yahoo.com

^{**)} The University of New South Wales, Sydney-Australia

(Naskah diterima: 20 Juni 2009; Disetujui publikasi: 2 Agustus 2009)

ABSTRAK

Keberhasilan dan keberlanjutan usaha budidaya ikan dalam keramba jaring apung (KJA) tidak terlepas dari tingkat keterlindungan lokasi dari aksi fisik peubah oseanografi fisik. Peubah oseanografi fisik yang paling utama menentukan tingkat keterlindungan lokasi adalah besar dan arah ombak yang datang ke pantai, karena selain berhubungan dengan tingkat kesesuaian lahan pada saat awal penyeleksian lokasi, juga dapat mempengaruhi aspek pengelolaan lebih lanjut setelah pelaksanaan dan pengembangan kegiatan budidaya. Penelitian ini bertujuan untuk menguraikan bentuk hubungan spasial antara perubahan iklim dengan kondisi oseanografi fisik khususnya peubah ombak dalam penilaian kesesuaian lahan untuk budidaya ikan dalam KJA. Penelitian ini menitikberatkan pada analisis spasial ombak untuk berbagai perubahan arah dan kecepatan angin yang mungkin terjadi pada lokasi penelitian. Model spasial tersebut dianalisis dengan memadukan metode analisis spasial dalam SIG dan metode penyelesaian *mild-slope* untuk model ombak permukaan di perairan pantai (CGWAVE). Evaluasi tingkat kesesuaian lahan dilakukan dengan melihat pengaruh ombak terhadap kondisi perairan yang sedang dan kemungkinan akan diperuntukkan untuk kegiatan budidaya ikan dalam KJA di wilayah pesisir Kabupaten Barru Provinsi Sulawesi Selatan. Model spasial ombak yang dikembangkan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa perubahan iklim yang mempengaruhi kondisi ombak akan secara signifikan langsung maupun tidak langsung mempengaruhi status tingkat kesesuaian perairan untuk budidaya ikan dalam KJA di lokasi penelitian. Dari 9.939,0 ha total luas perairan yang layak menurut kriteria kedalaman di Kabupaten Barru, hanya tersisa sekitar 2,9% (296,8 ha) yang layak setelah aspek keterlindungan berdasarkan ketinggian ombak diintegrasikan dalam analisis. Hasil penelitian ini pada akhirnya menyarankan perlunya pemahaman yang mendalam mengenai perubahan pola propagasi spasial ombak yang datang ke pantai akibat perubahan iklim dalam mengevaluasi metode pengelolaan budidaya ikan dan KJA yang ada serta mengembangkan metode pengelolaan yang tepat untuk masa yang akan datang.

KATA KUNCI: keramba jaring apung, model spasial, ombak, Kabupaten Barru

ABSTRACT: *Assessment of water suitability for sea cage aquaculture based on spatial modeling of nearshore wave propagation. By: Tarunamulia, Jesmond Sammut, and Rachmansyah*

The level of exposure of sites used for sea cage aquaculture to physical oceanographic variables is one of the key factors determining the sustainability and continual success of coastal industry. Information on wave height and direction are the most

reliable and critical oceanographic variables used for the assessment as the wave information will not only describe the level of suitability during site selection process but also relates to management strategies during and future development or expansion of the sea-based aquaculture. The objective of this research was to develop a spatial model of wave propagation approaching nearshore zone as a key criterion for the assessment of water suitability for coastal aquaculture. This study focused mainly on spatial modeling of coastal waves as a direct result from the variability of wind speed and direction at the study site. The spatial data, such as topographic and bathymetric maps of Barru coastal areas, were prepared using GIS softwares and further wave analysis was done using "coastal surface water wave model of the mild slope solution" (CGWAVE) software. The evaluation of water suitability was assessed by understanding the effect of wave propagation on the coastal areas used for present-day and potential development of sea-based aquaculture. In this study, the developed spatial model for coastal waves shows that climate change will influence wave condition and will limit water suitability at the study site. Of 9,939.0 ha total pre-identified suitable area for sea-cage aquaculture, factoring water depth criterion alone, the total area declined by 71% to just about 296.8 ha after the integration of the wave variables. This research emphasises the necessity of understanding the difference in spatial patterns of wave propagation due to climate change in the evaluation of existing coastal aquaculture and to plan for future development.

KEYWORDS: *sea cage aquaculture, spatial modeling, wave propagation, Barru Regency*

PENDAHULUAN

Pengembangan budidaya pantai yang berkelanjutan harus merupakan tinjauan jangka panjang yang memperhatikan kestabilan produksi serta faktor yang mendukung produksi tersebut. Pemilihan lokasi budaya yang dilakukan selama ini umumnya hanya mempertimbangkan aspek jangka pendek berdasarkan observasi lapangan yang kurang memperhatikan variasi ruang dan waktu. Parameter utama yang sering diabaikan adalah faktor perubahan iklim yang memang susah diprediksi berdasarkan pengamatan jangka pendek tersebut. Padahal dari berbagai hasil penelitian diketahui bahwa perubahan iklim disuatu daerah akan secara langsung maupun tidak langsung berpengaruh pada karakter peubah oseanografi yang juga merupakan peubah kunci lingkungan penentu keberhasilan pelaksanaan kegiatan budidaya pantai yang berbasis lahan. Untuk budidaya ikan dalam keramba jaring apung (KJA), peubah oseanografi fisik berhubungan sangat erat dengan aspek keterlindungan lokasi serta unit bangunan keramba. Sebagai ilustrasi, meskipun secara teori masih memungkinkan untuk membangun KJA pada daerah dengan ketinggian ombak lebih dari 2 m akan tetapi tentunya akan membutuhkan biaya dan sistem operasional rutin yang sangat mahal (Lekang, 2007).

Karakteristik peubah oseanografi yang umumnya memiliki besar dan arah yang sewaktu-waktu dapat berubah, dapat berpengaruh pada tingkat kelayakan perairan untuk KJA. Sebagai contoh pada suatu areal di perairan laut, lokasi yang dulunya atau selama ini cukup aman dan layak untuk penempatan bangunan KJA dapat berubah seiring dengan perubahan arah atau intensitas angin yang paling utama membangkitkan ombak tersebut. Perubahan iklim tersebut dapat berubah mengikuti pola umum perubahan iklim atau berubah akibat perubahan lokal misalnya dengan adanya perubahan penggunaan/peruntukan lahan (Salmun & Molod, 2005; CCSP, 2005).

Keterkaitan antara peubah oseanografis dengan perubahan iklim sudah lama diamati oleh berbagai disiplin, akan tetapi hasilnya umumnya disajikan dalam bentuk numerik atau data grafis berupa peta cuaca secara global. Pada wilayah pesisir, informasi yang paling umum dijumpai adalah hanya dalam bentuk prediksi tinggi ombak disuatu wilayah seiring dengan kejadian iklim spesifik. Sedangkan informasi lebih detail mengenai proses dan dampak pada suatu spesifik lahan sangat sulit untuk dijumpai, padahal informasi tersebut sangat dibutuhkan dalam manajemen suatu kawasan budidaya. Penelitian ini bertujuan untuk menguraikan bentuk hubungan spasial

antara perubahan iklim dengan kondisi oseanografi fisik khususnya peubah ombak yang menepi (mendekati pantai) dalam penilaian kelayakan lahan untuk budidaya pantai (budidaya ikan dalam KJA dan budidaya tambak).

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini memanfaatkan data sekunder berupa data hasil observasi arah dan kecepatan angin yang diperoleh dari Badan Meteorologi dan Geofisika; dan data topografi dasar laut (kedalaman laut) dari peta lingkungan pantai kabupaten Barru, Kabupaten Pangkep dan Kotamadya Parepare yang dikeluarkan oleh Bakosurtanal. Selain memanfaatkan data sekunder tersebut maka pada lokasi terseleksi juga dilakukan pengukuran langsung di lapangan. Pengukuran tersebut antara lain adalah pengukuran bathymetri dengan menggunakan echosounder type *Garmin fish finder 120*. Pengukuran kedalaman tersebut diikuti dengan pengukuran pasang surut selama 15 piantan sehingga data kedalaman yang terukur dapat dikoreksi pada suatu bidang referensi dan agar data tersebut dapat diintegrasikan dengan data pengukuran bathymetri yang sudah ada. Informasi spasial kondisi penggunaan dan penutup lahan pantai secara rinci diperoleh dari citra *quickbird* tahun 2007.

Data arah dan kecepatan angin selama 10 tahun dikonversi ke dalam arah, tinggi dan periode ombak signifikan laut dalam. Peubah ombak laut dalam tersebut selanjutnya diintegrasikan dengan data topografi dasar laut (data batimetri) sebagai data input untuk membangun model propagasi gelombang yang menuju pantai. Model tersebut memanfaatkan model ombak permukaan di pantai berdasarkan teori penyelesaian ombak tipe pantai dengan kelandaian sedang (*mild-slope*). Model propagasi mendekati pantai tersebut dianalisis dengan memanfaatkan kombinasi software *RCPWAVE* dan *CGWAVE* dengan input data dan layout hasil akhir yang diperbaiki dengan software *ArcGIS 9.2*. Model propagasi ombak dari model tersebut menghasilkan informasi tinggi ombak termasuk pola refraksi dan difraksi yang selanjutnya di uji tingkat akurasi dengan membandingkan hasil pengukurannya dengan kondisi lapangan yang diukur secara detail. Pengukuran secara detail tersebut dilakukan pada berbagai titik yang diduga terjadi perubahan pola refraksi

dengan analisis ombak individual dengan metode lintas-nol (*zero-up-crossing* dan *zero-down-crossing*) dengan format data seperti pada Lampiran1 (Ahmad & Massinai, 1991). Persamaan yang mendasari metode penyelesaian ombak *mild-slope* (Ebershole *et al.*, 1986; Holthuijsen, 2007) tersebut disajikan pada persamaan (1-3) berikut:

$$x. (CC_g \times \eta) + \frac{C_g}{C} \sigma^2 \eta = 0 \dots\dots\dots (1)$$

- Dimana
- $\eta (x, y)$ = Fungsi kompleks kemiringan permukaan, yang mana tinggi gelombang dapat diestimasi
- σ = Frekuensi gelombang yang diamati (dalam radian/det.)
- $C (x, y)$ = Kecepatan tunggal = $\frac{\sigma}{k}$
- $C_g (x, y)$ = Kecepatan kelompok = $\delta\sigma / \delta k = nC$
dengan $n = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2 kd}{\sinh 2kd} \right] \dots\dots (2)$
- $k (x, y)$ = Jumlah gelombang (= $2\pi / L$), yang berhubungan dengan kedalaman $d(x,y)$ melalui hubungan dispersi linier : $\sigma^2 = gk \tanh (kd) \dots\dots\dots (3)$

Persamaan 1 tersebut mampu mensimulasikan refraksi, difraksi, dan refleksi ombak pada wilayah pantai dengan bentuk topografi yang tidak reguler (tidak beraturan) (Ebershole *et al.*, 1986; Holthuijsen, 2007). Pada studi ini pengembangan lebih lanjut yang memasukkan pengaruh pantai lainnya seperti efek hamburan ombak akibat gesekan belum dipertimbangkan. Sedangkan tinggi ombak menurut analisa ombak individual yang digunakan sebagai pembanding diolah menurut persamaan 4 hingga 7 berikut, di mana persamaan ini menyatakan fungsi sampel ombak dalam sajian distribusi Rayleigh (Ahmad & Massinai, 1991 ; Horikawa, 1988; Holthuijsen, 2007; Carter, 1988).

$$P \left[\frac{H}{\bar{H}} \right] = \frac{\pi}{2} \left[\frac{H}{\bar{H}} \right] \exp \left[- \frac{\pi}{4} \left[\frac{H}{\bar{H}} \right]^2 \right] \dots\dots\dots (4)$$

Dengan persamaan 4 ini, didapatkan hubungan berbagai tinggi ombak representatif, seperti:

$$H^{1/3} = 1,597 \bar{H} \dots\dots\dots (5)$$

$$\bar{H} = 0,0626 H^{1/3} \dots\dots\dots (6)$$

$$H_{rms} = 1,128 \bar{H} = 0,706 H^{1/3} \dots\dots\dots (7)$$

Dalam hal $H^{1/3}$ ini adalah tinggi ombak signifikan yang merupakan harga rata-rata dari $1/3$ jumlah tinggi terbesar, \bar{H} tinggi ombak rata-rata dan H_{rms} , sementara itu untuk distribusi perioda ombak T dapat digunakan hubungan sebagai berikut:

$$T^{1/3} = 1,1 \bar{T} \quad (\bar{T} = \text{perioda rata-rata}) \dots\dots\dots (8)$$

HASIL DAN BAHASAN

Kondisi Umum Perairan Laut Kabupaten Barru

Secara umum mintakat (zona) iklim di Kabupaten Barru tergolong tipe C mengikuti skema curah hujan Schmidt-Ferguson (Schmidt & Ferguson, 1951 dalam Tan, 2008). Musim hujan terjadi antara bulan Oktober hingga Maret (tertinggi pada bulan Desember) sedangkan musim kemarau terjadi pada bulan April hingga September (Whitten *et al.*, 2002). Curah hujan rata-rata tahunan adalah sekitar 2937 (Tarunamulia, 2008). Suhu rata-rata adalah 29,5-32°C pada saat musim kemarau dan 28-30°C pada saat musim hujan (BMKG-Makassar, 2004). Suhu permukaan air laut secara umum hampir sama dengan suhu permukaan perairan laut selat Makassar yang berkisar antara 28,5-30°C, namun demikian suhu yang lebih rendah dapat dijumpai terutama pada saat malam hari. Kecepatan angin tertinggi terutama terjadi pada bulan Desember dan Januari dari arah barat dan barat daya.

Kondisi oseanografi fisik Kabupaten Barru dipengaruhi terutama oleh karakteristik oseanografis Selat Makassar serta letak geografisnya yang berada di pantai Barat Sulawesi Selatan. Salinitas rata-rata air laut adalah sekitar 33 mg/L, meskipun juga didapatkan variasi untuk tiap lapisan kedalaman dan variasi horisontal dengan keberadaan 6 sungai besar walaupun dengan debit air yang relatif kecil yang bermuara di perairan pantai Kabupaten Barru (Sungai Bojo, Palungenggellange, Lampoko, Takkalasi, Binangae, dan Lipukasi/Polang) (Bakosurtanal, 1991). Tipe pasang surut di perairan laut Kabupaten Barru utamanya adalah tipe campuran dengan pasang tunggal dominan (*mixed-type prevailing to diurnal*) yang dihitung berdasarkan bilangan "Formzhal" (F

ratio) (Tarunamulia, 2008, Dishidros-AL, 2009; Ongkosongo & Suyarso, 1989). Karena garis pantai langsung berhadapan dengan Selat Makassar maka kondisi pantai sangat terekspos dengan kondisi gelombang (ombak) yang ekstrim. Tinggi ombak maksimum terutama terjadi pada bulan Desember dan Januari dengan tinggi ombak maksimum laut dalam dapat mencapai 3 m dengan jarak yang cukup dekat di garis pantai (BMKG, 2008; 2009). Arah datang ombak laut dalam pada ketinggian maksimum adalah dari arah barat (tegak lurus pantai) dan dari arah Barat Daya. Serangan ombak yang nyata pada tahun 2007-2008 dapat dilihat pada sepanjang pantai utara Kecamatan Balusu Kabupaten Barru yang dampaknya hingga menghancurkan fasilitas bangunan pantai (rumah, bangunan hatcheri skala rumah tangga dan lain-lain). Namun demikian keberadaan pulau-pulau kecil, gusung pasir dan terumbu karang yang tersebar memanjang dari selatan ke utara merupakan pelindung pantai alami yang memungkinkan pengembangan berbagai sistem budidaya laut.

Kondisi topografi dasar laut di wilayah Kabupaten Barru dapat dilihat pada Gambar 1. Dari ilustrasi dua dan tiga dimensi tersebut diketahui bahwa wilayah perairan di bagian utara memiliki kemiringan lebih terjal dibandingkan dengan di daerah bagian selatan. Pada bagian utara di Kecamatan Mallusetasi dan Kecamatan Soppengriaja, kedalaman laut 50 m bisa ditemukan hanya pada jarak 0,5 km dari garis pantai, sedangkan dengan kedalaman laut yang sama baru bisa ditemukan pada jarak ± 7 m di wilayah pantai bagian selatan. Kondisi relief dasar laut tersebut menyerupai kondisi topografi daratan yang umumnya relatif datar pada bagian selatan Kabupaten Barru dibandingkan bagian utara yang umumnya berbukit hingga bergunung-gunung (DPE-Sulsel, 1996).

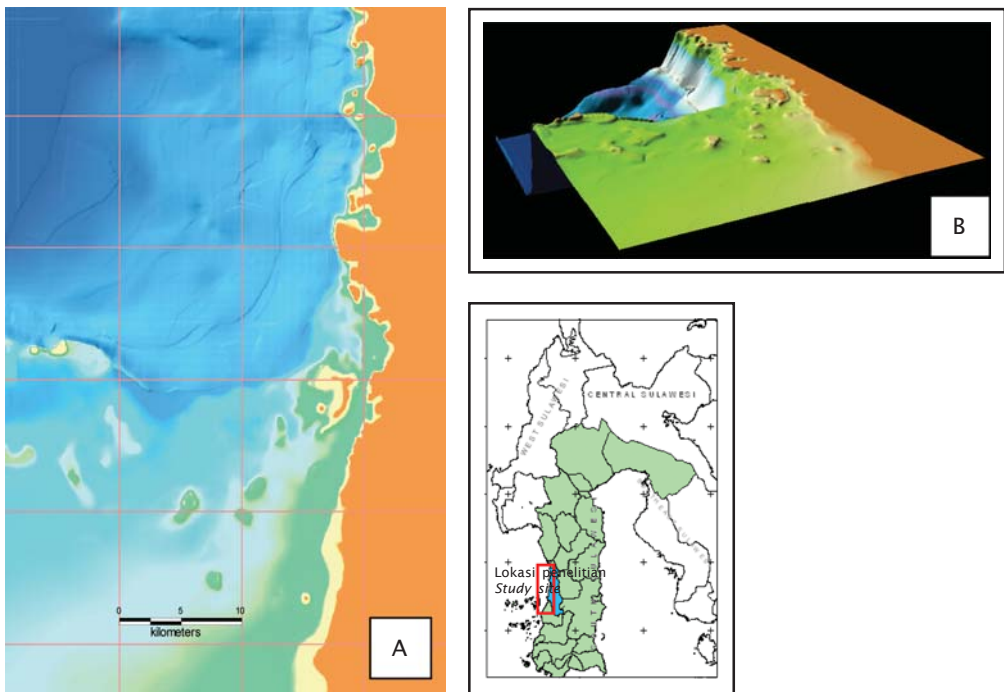
Hubungan Spasial Perubahan Iklim dan Karakteristik Ombak dan Pengaruhnya terhadap Tingkat Kelayakan Lahan Pesisir untuk Kegiatan Budidaya

Berdasarkan informasi umum iklim perairan laut Kabupaten Barru pada pembahasan sebelumnya, maka dapat diasumsikan bahwa angin dominan yang mempengaruhi kejadian ombak di daerah ini adalah angin yang bertiup dari arah Barat (tegak lurus pantai) dan Barat daya (BMKG, 2008; 2009) yang berpengaruh utamanya pada pantai bagian Selatan

Kabupaten Barru. Namun demikian walupun relatif kecil kejadian ombak juga dapat terjadi karena tiupan angin dari arah Barat Laut dengan *Fetch* (panjang daerah di atas mana angin berhembus dengan kecepatan dan arah konstan) diukur dari pantai/daratan Kalimantan Timur dan mempengaruhi pantai bagian utara. Dengan demikian dapat dipahami alasan mengapa wilayah pantai bagian selatan dari Kecamatan Taneterilau hingga Kecamatan Balusu (sekitar Pulau Pannikiang) memiliki kemiringan pantai yang relatif landai dan berlumpur, karena pengaruh ombak yang cukup kuat tersebut mampu mengangkut sedimen laut dan membendung sejumlah besar sedimen daratan yang diangkut melalui aliran sungai dan diendapkan sepanjang pantai tersebut. Ketiga arah angin ini juga kemudian menjadi penentu kondisi propagasi ombak laut dalam yang menepi ke pantai.

Gambar 2 menunjukkan pola propagasi ombak menuju pantai di sepanjang pantai di Kabupaten Barru. Gambar pertama bagian A

dengan arah datang ombak dari laut dalam tegak lurus garis normal pantai, menjelaskan ombak yang datang dengan ketinggian 2 meter selanjutnya akan diteruskan hingga 0,01 km dari garis pantai bagian utara dan 0,05 km dari garis pantai bagian selatan dan selanjutnya akan mengalami propagasi (refraksi, difraksi, dan refleksi) pada kedalaman kurang dari 20 m. Dari total areal perairan 9.939,0 ha yang layak menurut kriteria kedalaman hanya menyisakan seluas 1.264,0 ha areal perairan dengan ketinggian ombak di bawah 0,5 m yang terutama terdapat di daerah celukan, teluk atau terlindung pulau-pulau atau gusung (pulau pasir) pada wilayah pantai bagian selatan dan tengah (Kecamatan Balusu dan sedangkan pada gambar pertama bagian B ombak laut dalam yang bergerak dari arah barat daya menuju pantai menyisakan wilayah perairan yang aman lebih luas dibandingkan yang tegak lurus seluas 2.140,0 ha. Fenomena perubahan luas dan letak geografis wilayah yang berkategori aman dari ekspos ombak ini harus



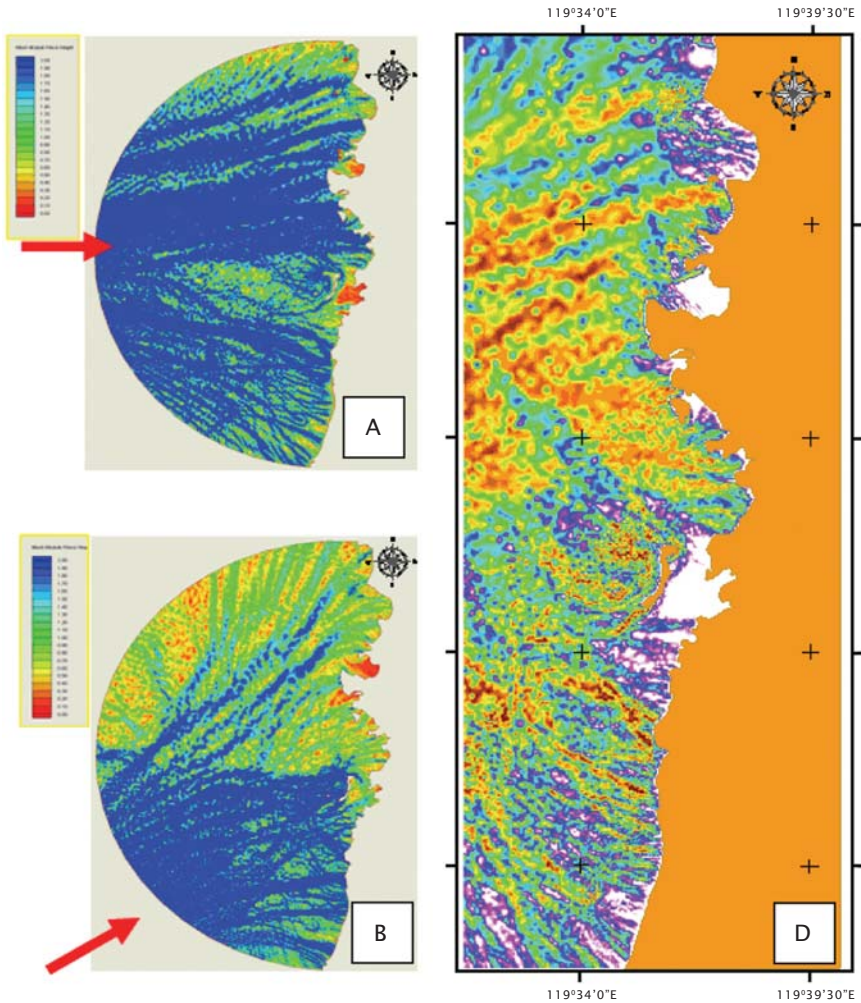
Gambar 1. Kondisi topografi dasar laut di perairan Kabupaten Barru Sulawesi Selatan (A = Kontur Bathymetri; B = Penampakan tiga dimensi) (Sumber: diolah dari peta LPI, 1991 dan data hasil survei batimetri tahun 2008)

Figure 1. Bathymetry map of Barru Regency, Province of South Sulawesi (A = Seafloor map as contour lines/2D-view; B = sea floor relief in 3D-view)

menjadi perhatian serius bagi pengelolaan dan pemanfaatan wilayah perairan khususnya untuk kegiatan budidaya ikan dalam KJA. Pada tahap ini hasil analisis spasial propagasi ombak mendekati pantai yang dituangkan dalam bentuk peta ketinggian ombak ini telah mampu memprediksi wilayah perairan yang cukup aman untuk kegiatan budidaya dan memberikan arahan lokasi yang lebih terfokus (areal lebih sempit) untuk kegiatan survei rinci

selanjutnya. Hal ini tentunya akan menghemat biaya dan waktu pada saat pelaksanaan survei yang lebih rinci.

Pengintegrasian data ketinggian ombak tersebut dengan peubah lain seperti data kedalaman ideal untuk KJA dan keberadaan *plume area* selanjutnya didapatkan peta kelayakan perairan seperti pada Gambar 3. Peta tersebut merupakan estimasi status kelayakan umum perairan berdasarkan kombinasi ketiga.

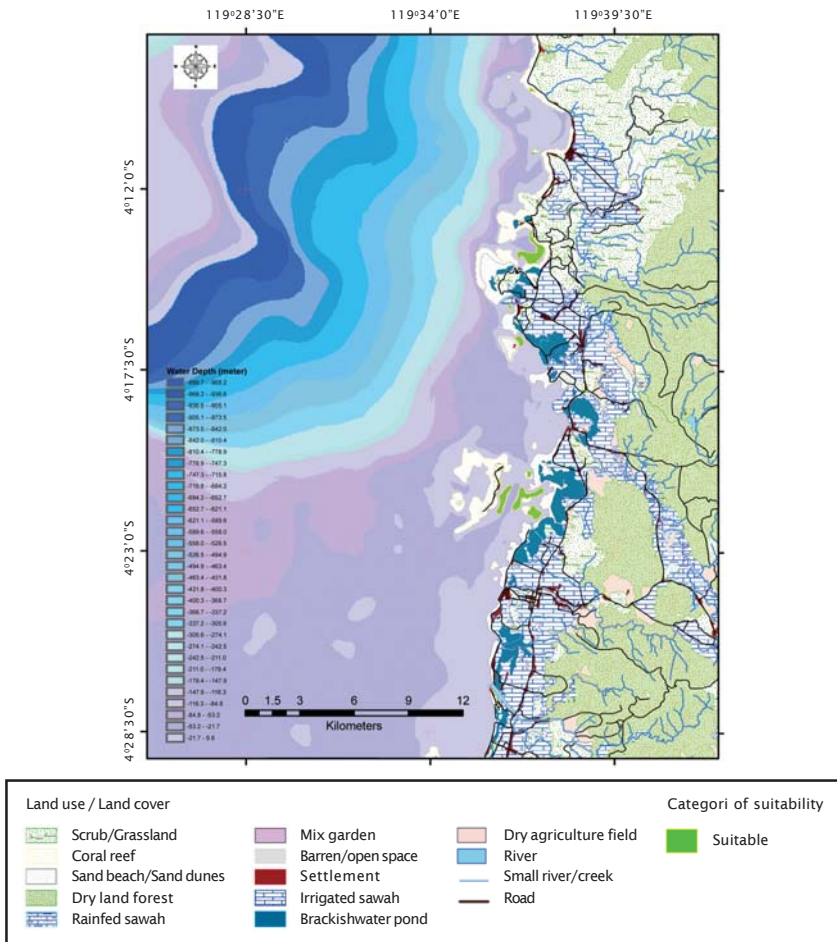


Gambar 2. Peta ketinggian ombak untuk arah datang ombak laut dalam berbeda di Kabupaten Barru (A = ombak laut dalam dari arah barat/tegak lurus garis normal pantai; B = ombak laut dalam dari arah barat laut)

Figure 2. Map of wave heights as the result of different deep water wave directions in Barru Regency waters (A = deep water wave coming from west/perpendicular to coast line; B = deep water wave approaching nearshore zone from south west)

Pada analisis kelayakan perairan dengan pertimbangan kedalaman yang layak untuk KJA (antara 8 hingga 25 meter) maka akan didapatkan total luas lahan sebesar 9.939,0 ha yang potensial untuk sistem budidaya KJA. Selanjutnya dengan memasukkan data keamanan dari expos ombak dari analisis spasial propagasi sebelumnya serta pertimbangan pengurangan wilayah plume maka dari total lahan tersebut akan didapatkan hanya sekitar 2,9% (296,8 ha) yang layak pada keseluruhan perairan pantai Kabupaten Barru yang terletak secara menyebar di wilayah Teluk Awerange, Teluk Labuange, dan sekitar Pulau Pannikiang. Namun demikian dengan

menyadari tingkat ketelitian skala peta batimetri yang digunakan (skala 1:50.000), tentunya untuk kegiatan pengembangan, luasan tersebut akan berubah seiring dengan semakin rincinya data dasar yang digunakan. Bilamana tersedia data pendukung analisis yang lebih rinci maka akan membantu perbaikan akurasi analisis kelayakan dan mendorong munculnya informasi tambahan mengenai peubah ombak turunan selain dari sekedar informasi tinggi ombak. Data pendukung tersebut antara lain adalah hasil pengukuran bathimetri dan informasi peubah ombak dalam (*incident wave*) yang lebih rinci (hingga skala 1:10.000).



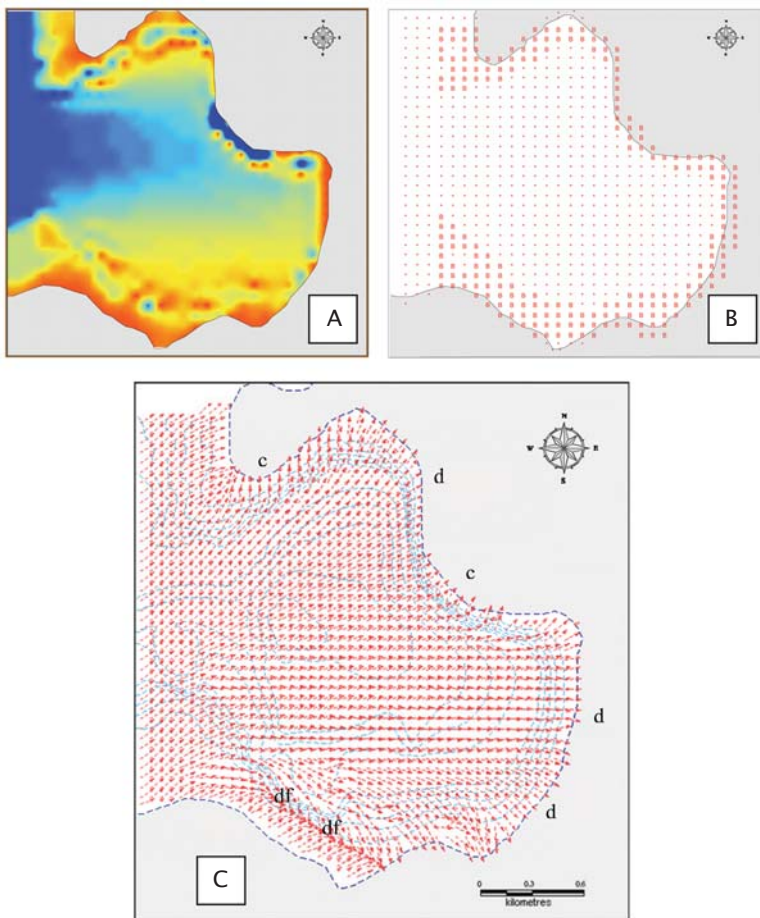
Gambar 3. Output akhir peta kelayakan lahan untuk budidaya ikan dalam KJA di Kabupaten Barru

Figure 3. Final output of water suitability map for seacage aquaculture in Barru Regency

Gambar 4 menunjukkan salah satu contoh penggalian informasi turunan dari peubah ombak lebih lanjut di Teluk Awerange dengan hanya sekedar meningkatkan kerincian skala data input analisis. Pada bagian 4 A yang menjelaskan peta ketinggian ombak, didapat informasi tinggi ombak yang lebih bervariasi dan lebih spesifik menunjukkan wilayah pantai yang aman untuk kegiatan penempatan unit KJA dibandingkan pada Gambar 2. Luas lahan 98,9 ha yang dianggap aman di Teluk Awerange sesuai dengan analisis global sebelumnya ternyata berkurang hingga hanya 28 ha seiring dengan meningkatnya ketelitian

data *input*. Data ketinggian ombak hasil prediksi tersebut memiliki tingkat akurasi yang cukup baik, hal ini dibuktikan dengan hasil analisis korelasi dengan membandingkan data hasil pengukuran lapangan yang dihasilkan dari analisis ombak individual dengan data ketinggian hasil prediksi seperti pada Tabel 1.

Pada analisis yang lebih rinci ini, lokasi ombak pecah sudah dapat diprediksi dengan tingkat ketelitian juga lebih tergantung pada data kedalaman. Secara prinsip kejadian ombak pecah akan terjadi pada kondisi $H/L > 1/7$



Gambar 4. Analisis spasial rinci pola propagasi ombak mendekati pantai di Teluk Awerange Kabupaten Barru (A = Ketinggian ombak, B = Peta lokasi ombak pecah, dan C = Pola refraksi dan difraksi ombak)

Figure 4. Detailed spatial analysis of nearshore wave propagation in Awerange Bay, Barru Regency (A = wave height, B = predicted location of wave breaking and C = wave refraction and diffraction model)

(H =tinggi ombak dan L = panjang gelombang) (Lekang, 2007). Informasi spasial dari ombak pecah ini sangat penting bagi sistem budidaya KJA karena akan memperlihatkan perbedaan lebar dari *surf zone*. Pada Gambar 4B terlihat bahwa pada bagian Selatan Teluk Awerange lebar (luas) daerah *surf zone* hampir dua kali lebih besar bila dibandingkan dengan wilayah teluk bagian Utara dan Timur. Kondisi *surf zone* yang lebih lebar (jauh dari garis pantai) menunjukkan lokasi di mana terjadi redaman energi yang lebih besar sehingga menciptakan daerah yang cukup aman untuk kegiatan budidaya, sedangkan jika *surf zone*-nya lebih sempit dan terjadi dekat atau pada garis pantai dapat menjadi indikator akan terjadi propagasi lebih lanjut melewati garis pantai dengan lepasan energi yang lebih destruktif (Horikawa, 1988; Bose *et al.*, 1991).

Aspek propagasi ombak lain yang tidak kalah pentingnya adalah pola refraksi dan difraksi yang terjadi ketika ombak laut dalam memasuki wilayah teluk seperti yang ditampilkan pada Gambar 4C. Pola refraksi tersebut ditampilkan secara grafis dalam bentuk garis dengan bantuan software GIS. Arah yang diindikasikan dengan anak panah tersebut menyatakan arah garis ortogonal ombak terhadap garis pantai. Berdasarkan pola refraksi tersebut dapat diketahui lokasi dimana terjadinya konvergensi ombak yang pada gambar tersebut ditandai dengan huruf "c" dan divergensi ombak dengan huruf "d". Pada Gambar 4C tersebut diketahui letak konvergensi ombak utamanya terjadi pada

tanjung atau daratan yang menjorok ke laut di bagian utara mulut teluk sedangkan divergensi ombak terjadi pada garis pantai sebelah dalam dan sisi timur teluk. Informasi lain dari peta tersebut adalah dengan kombinasi garis ortogonal ombak dengan kontur kedalaman diketahui jika grup-grup ombak yang bergerak menuju pantai mulai membelok pada kedalaman 5 meter dan cenderung membelok sejajar dengan garis pantai. Konvergensi ombak pada suatu wilayah teluk menandakan adanya konsentrasi ombak atau konsentrasi energi yang harus dihindari karena efeknya sangat destruktif baik untuk bangunan yang dilewati (unit KJA) maupun untuk daratan yang dituju. Sedangkan divergensi merupakan petunjuk lokasi di mana terjadi pengurangan energi ombak sehingga juga merupakan petunjuk awal mengenai lokasi yang aman untuk penempatan unit KJA. Seperti halnya lokasi ombak pecah, refraksi ombak ini merupakan informasi penting mengenai pola arus pantai, angkutan sedimen dan morfologi pantai yang juga merupakan informasi penting dalam manajemen budidaya KJA (Pethick, 1984; Bose *et al.*, 1991).

Karena kejadian difraksi ombak juga disimulasikan pada model ini maka lokasi di mana terjadinya difraksi ombak juga ditampilkan pada Gambar 4C yang ditandai dengan huruf "df". Dengan model rinci ini, diketahui jika ombak yang datang dari laut dalam dapat membelok masuk ke perairan pada sisi dalam/ belakang daratan yang menjadi pelindung (daratan pada mulut teluk). Ombak yang

Table 1. Hasil analisis korelasi dua variabel antara tinggi ombak yang diukur langsung di lapangan dan tinggi ombak yang diprediksi dari model RCPWAVE dengan SPSS 16

Table 1. Output of SPSS bivariate correlation analysis comparing wave heights collected from the field and wave heights generated from the RCPWAVE model

		Lapang (<i>Field</i>)	Model (<i>Model</i>)
Lapang (<i>Field</i>)	Pearson Correlation	1	.883(**)
	Sig. (2-tailed)		0.001
	N	10	10
Model (<i>Model</i>)	Pearson Correlation	.883(**)	1
	Sig. (2-tailed)	0.001	
	N	10	10

** Korelasi signifikan pada level 0,01 (2-sisi)
Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

diteruskan dengan proses difraksi tersebut akan mentransfer energi yang cukup tinggi dengan arah yang sejajar dengan garis pantai (sisi selatan Teluk Awerange). Lokasi di mana terjadinya difraksi tersebut juga dianggap kurang layak untuk penempatan unit KJA.

KESIMPULAN DAN SARAN

Model analisis spasial propagasi ombak mendekati pantai ini dapat digunakan sebagai peubah kunci lingkungan pada analisis tingkat kelayakan perairan untuk budidaya laut khususnya sistem budidaya ikan dalam KJA. Informasi tersebut telah mampu memprediksi lokasi potensial untuk budidaya dan membantu memfokuskan cakupan wilayah survei yang lebih rinci untuk kepentingan pengembangan. Untuk luas total perairan 9.939 ha yang layak menurut kriteria kedalaman di Kabupaten Barru, hanya terdapat sekitar 296,8 ha yang layak untuk sistem budidaya ikan dalam KJA tersebut. Karena didasarkan pada analisis dampak perubahan iklim terutama mengenai pola arah dan kecepatan angin, maka informasi yang didapatkan merupakan tinjauan pengelolaan jangka panjang. Namun demikian hasil ini hanya bersumber pada salah satu peubah penting dengan ketelitian informasi tergantung pada skala peta dasar yang digunakan, sehingga belum merupakan kelayakan akhir untuk skala peletakan atau pembangunan unit KJA dan tentunya masih membutuhkan peubah lingkungan lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Diucapkan terima kasih kepada Proyek ACIAR FIS/2002/076 "Land Capability Assessment and Classification for Sustainable Pond-based, Aquaculture Systems" dan Proyek APBN 2008 "Riset Pemetaan dan Daya Dukung Lahan Perikanan Pesisir" yang telah membiayai penelitian ini.

DAFTAR ACUAN

- Ahmad, D. & Altin Massinai, M. 1991. Karakteristik Ombak Pada Musim Barat di Pesisir Tanjung Bunga: Suatu Pra-Studi Tentang Laju Sedimentasi dan Difusi Material. Lembaga Penelitian Universitas Hasanuddin. Makassar, 52 hlm.
- Bakosurtanal. 1991. Seri Peta Rupa Bumi Indonesia. Jakarta.
- Bose, A.N., Ghosh, S.N., Yang, C.T., & Mitra, A. 1991. *Coastal Aquaculture Engineering*. New York: Edward Arnold, 240 pp.

- BMKG. 2004). Data Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Sulawesi Selatan. Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Maritim Paotere, Makassar, 10 hlm.
- BMKG. 2008. Perkiraan Harian Tinggi Gelombang. Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Maritim. Jakarta, 7 hlm.
- BMKG. 2009. Perkiraan Harian Tinggi Gelombang. Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Maritim. Jakarta, 8 hlm.
- Carter, R.W.G. 1988. Coastal Environments : an introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines. Academic Press. London, 617 pp.
- CCSP. 2005. Our changing planet. Climate Change Science Program. New York, 224 pp.
- Dishidros-AL. 2008. Daftar Pasang Surut Kepulauan Indonesia. Jawatan Hidro-Oseanografi TNI-AL, Jakarta, 679 hlm.
- DPE-Sulsel. 1996. Laporan Penyelidikan Geologi Pantai Kabupaten Dati II Barru Propinsi Sulawesi Selatan. Bidang Geologi Sumberdaya Mineral Kantor Wilayah Departemen Pertambangan dan Energi Propinsi Sulawesi Selatan, 69 hlm.
- Ebershole, Cialone, & Prater. 1986). "Regional Coastal Numerical Modeling System 1: RCPWAVE - A Linear Wave Propagation Engineering Use. In *Coastal Engineering Technical Note*. Vicksburg, MS: Army Engineer Waterways Experiment Station, 5 pp.
- Holthuijsen, L.H. 2007. Waves in Oceanic and Coastal Waters. First edition. Blackwell Cambridge University Press. New York, 387 pp.
- Horikawa, K. 1988. Nearshore Dynamics and Coastal Processes. University of Tokyo Press. Tokyo, 522 pp.
- Lekang, O. 2007. Aquaculture Engineering. First edition. Blackwell Publishing. Oxford-UK, 340 pp.
- Ongkosongo, O.S.R. & Suyarso. 1989. Pasang-Surut. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia: Pusat Pengembangan Oseanologi, 257 hlm.
- Pethick, J. 1984. An Introduction to Coastal Geomorphology. Edward Arnold Ltd. London, 260 pp.
- Salmun, H. & Molod, A. 2005. Progress in Modelling the Impact of Land Use Change on the Global Climate. Department of Geography, Hunter College of the City University of New York. New York, 20 pp.

- Tan, K.H. 2008. *Soils in the Humid Tropics and Monsoon Region of Indonesia*. CRC Press. New York, 584 pp.
- Tarunamulia. 2008. *Application of Fuzzy Logic, GIS and Remote Sensing to the Assessment of Environmental Factors for Extensive Brackishwater Aquaculture in Indonesia*. Thesis S2: School of Biological, Earth and Environmental Sciences, Faculty of Science, UNSW. Sydney, 218 pp.
- Whitten, T., Henderson, G.S., & Mustafa, M. 2002. *The Ecology of Sulawesi*. Singapore: Periplus Editions (HK) Ltd, 754 pp.

Lampiran 1. Hasil pengukuran ombak dengan metode analisis ombak individual untuk keperluan analisis akurasi

Appendix 1. Output of individual wave analysis used for model accuracy assessment

Stasiun (Station) 1

Date of observation = 31 January 2007
 Water depth = 65 cm
 Wind velocity = 5.07 cm/second
 Wind direction = 330 (NW)
 Mean wave = 27.8 cm
 H_{rms} = 28.6 cm
 $H^{1/3}$ = 35.2 cm
 $T^{1/3}$ = 5.61 second

Stasiun (Station) 2

Date of observation = 31 January 2007
 Water depth = 60 cm
 Wind velocity = 4.90 cm/second
 Wind direction = 330 (NW)
 Mean wave = 21.5 cm
 H_{rms} = 22.8 cm
 $H^{1/3}$ = 30.0 cm
 $T^{1/3}$ = 5.72 second

No.	Crest (a)	Trough (b)	W. height (a-b)
1	97	60	37
2	97	60	37
3	90	55	35
4	95	61	34
5	103	70	33
6	90	58	32
7	90	59	31
8	85	58	27
9	87	60	27
10	87	60	27
11	85	60	25
12	90	69	21
13	80	60	20
14	76	60	16
15	80	65	15

No.	Crest (a)	Trough (b)	W. height (a-b)
1	95	60	35
2	95	63	32
3	90	60	30
4	90	63	27
5	86	60	26
6	87	63	24
7	86	63	23
8	85	65	20
9	80	60	20
10	86	67	19
11	83	65	18
12	80	65	15
13	75	60	15
14	72	60	12
15	76	70	6

Notes:

H_{rms} = root-mean-square wave height

$H^{1/3}$ = significant wave height

$T^{1/3}$ = significant wave period

Lanjutan Lampiran 1

Stasiun (Station) 3

Date of observation = 31 January 2007
 Water depth = 80
 Wind velocity = 6.09
 Wind direction = 320 (NW)
 Mean wave = 20.7 cm
 H_{rms} = 21.9
 $H^{1/3}$ = 28.8 cm
 $T^{1/3}$ = 6.2 second

Stasiun (Station) 4

Date of observation = 31 January 2007
 Water depth = 80
 Wind velocity = 6.20
 Wind direction = 320 (NW)
 Mean wave = 21.3
 H_{rms} = 23.4
 $H^{1/3}$ = 31.8
 $T^{1/3}$ = 5.9

No.	Crest (a)	Trough (b)	W. height (a-b)
1	106	75	31
2	110	80	30
3	105	75	30
4	110	82	28
5	115	90	25
6	112	90	22
7	115	95	20
8	105	85	20
9	105	85	20
10	100	80	20
11	100	81	19
12	105	90	15
13	95	80	15
14	90	82	8
15	97	90	7

No.	Crest (a)	Trough (b)	W. height (a-b)
1	100	60	40
2	110	80	30
3	115	85	30
4	110	80	30
5	110	81	29
6	110	85	25
7	105	81	24
8	100	80	20
9	105	85	20
10	105	85	20
11	100	84	16
12	96	82	14
13	95	85	10
14	95	85	10
15	85	83	2

Notes:

H_{rms} = root-mean-square wave height

$H^{1/3}$ = significant wave height

$T^{1/3}$ = significant wave period

Lanjutan Lampiran 1

Stasiun (Station) 5

Date of observation	= 31 January 2007
Water depth	= 90
Wind velocity	= 6.43
Wind direction	= 330 (NW)
Mean wave	= 19.5
H_{rms}	= 20.9
$H^{1/3}$	= 27.4 cm
$T^{1/3}$	= 6.49 second

Stasiun (Station) 6

Date of observation	= 31 January 2007
Water depth	= 90
Wind velocity	= 6.5
Wind direction	= 330 (NW)
Mean wave	= 24.6
H_{rms}	= 25.8
$H^{1/3}$	= 30.8
$T^{1/3}$	= 5.94

No.	Crest (a)	Trough (b)	W. height (a-b)
1	120	85	35
2	115	85	30
3	115	90	25
4	110	85	25
5	112	90	22
6	110	90	20
7	105	85	20
8	110	90	20
9	110	90	20
10	110	90	20
11	100	82	18
12	111	95	16
13	100	90	10
14	97	90	7
15	95	90	5

No.	Crest (a)	Trough (b)	W. height (a-b)
1	121	85	36
2	110	80	30
3	120	90	30
4	112	83	29
5	113	84	29
6	110	82	28
7	112	85	27
8	115	90	25
9	115	90	25
10	116	95	21
11	110	90	20
12	110	90	20
13	105	87	18
14	111	95	16
15	106	91	15

Notes:

H_{rms} = root-mean-square wave height

$H^{1/3}$ = significant wave height

$T^{1/3}$ = significant wave period

Lanjutan Lampiran 1

Stasiun (Station) 7

Date of observation = 31 January 2007
 Water depth = 85
 Wind velocity = 5.10
 Wind direction = 280 (W)
 Mean wave = 26.5
 H_{rms} = 28.2
 $H^{1/3}$ = 37.0 cm
 $T^{1/3}$ = 5.83 second

Stasiun (Station) 8

Date of observation = 31 January 2007
 Water depth = 85
 Wind velocity = 5.10
 Wind direction = 280 (W)
 Mean wave = 26.3
 H_{rms} = 28.7
 $H^{1/3}$ = 39.2
 $T^{1/3}$ = 5.72

No.	Crest (a)	Trough (b)	W. height (a-b)
1	126	85	41
2	125	85	40
3	122	85	37
4	120	85	35
5	127	95	32
6	115	85	30
7	120	90	30
8	115	90	25
9	110	85	25
10	115	90	25
11	117	95	22
12	111	90	21
13	95	80	15
14	95	85	10
15	90	80	10

No.	Crest (a)	Trough (b)	W. height (a-b)
1	127	85	42
2	130	90	40
3	125	85	40
4	125	86	39
5	120	85	35
6	126	95	31
7	110	80	30
8	110	81	29
9	110	85	25
10	111	91	20
11	110	91	19
12	105	90	15
13	90	80	10
14	105	95	10
15	105	95	10

Notes:

H_{rms} = root-mean-square wave height

$H^{1/3}$ = significant wave height

$T^{1/3}$ = significant wave period

Lanjutan Lampiran 1

Stasiun (Station) 9

Date of observation = 31 January 2007
 Water depth = 90
 Wind velocity = 4.78
 Wind direction = 310 (NW)
 Mean wave = 15.3
 H_{rms} = 17.2
 $H^{1/3}$ = 24.8 cm
 $T^{1/3}$ = 6.20 second

Stasiun (Station) 10

Date of observation = 31 January 2007
 Water depth = 90
 Wind velocity = 4.70
 Wind direction = 310 (NW)
 Mean wave = 16.1
 H_{rms} = 18.3
 $H^{1/3}$ = 25.4
 $T^{1/3}$ = 6.16

No.	Crest (a)	Trough (b)	W. height (a-b)
1	115	80	35
2	115	90	25
3	110	86	24
4	110	90	20
5	110	90	20
6	96	80	16
7	100	85	15
8	97	86	11
9	96	85	11
10	90	80	10
11	95	85	10
12	100	90	10
13	100	90	10
14	92	85	7
15	85	80	5

No.	Crest (a)	Trough (b)	W. height (a-b)
1	115	85	30
2	115	86	29
3	115	90	25
4	105	83	22
5	105	84	21
6	105	85	20
7	105	85	20
8	110	90	20
9	100	85	15
10	96	85	11
11	90	83	7
12	90	84	6
13	90	84	6
14	95	90	5
15	90	85	5

Notes:

H_{rms} = root-mean-square wave height

$H^{1/3}$ = significant wave height

$T^{1/3}$ = significant wave period