

Pola Angin Pembangkit Gelombang yang Berpengaruh atas Morfologi dan Bangunan Pantai di Sekitar Makassar

Frans Rabung¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Jln. Perintis Kemerdekaan Km. 10 Tamalanrea, Makassar, 90245
Email: ¹rabung@live.com

Abstrak

Kondisi pantai Indonesia, sebagai negara yang memiliki pantai terpanjang di dunia, semakin hari semakin kritis baik dilihat dari segi morfologi maupun dari segi bangunan-bangunan pantai. Penyebabnya bukan saja kurangnya perhatian (biaya) untuk pemeliharaan/pembangunan, tetapi juga ketiadaan data yang cukup dan akurat untuk perhitungan-perhitungan teknis. Data yang terpenting adalah data gelombang yang kontinu untuk jangka waktu yang cukup lama guna keperluan peramalan gelombang-gelombang ekstrim dalam periode waktu yang akan datang. Sayangnya justru data gelombang ini yang paling sulit diukur dan paling mahal biayanya. Sebagai alternatif data angin dapat dipakai sebagai alat untuk meramal gelombang karena gelombang yang paling banyak berpengaruh di pantai adalah gelombang yang ditimbulkan oleh angin. Penelitian ini mempelajari tentang angin di pantai kota Makassar.

Kata Kunci: Pantai, angin, gelombang, difraksi, refraksi

I. Pendahuluan

I.1 Tujuan Penelitian

Sebagai negara kepulauan terbesar dengan pantai terpanjang di dunia, Indonesia seharusnya memberi perhatian yang memadai pada kelestarian pantai, terlebih lagi dengan munculnya fenomena *sea level rise* dan cuaca ekstrim akhir-akhir ini. Namun kenyataannya sebagian besar pantai Indonesia sekarang dalam keadaan rusak karena tidak terawat, sehingga setiap tahun timbul kerugian besar baik berupa kehilangan wilayah daratan maupun kerusakan bangunan-bangunan pantai.

Contoh yang terdekat, masih dalam wilayah kota Makassar, adalah pantai Tanjung Bunga. Dahulu, daratan Tanjung Bunga terbentuk sebagai tanah tumbuh (*spit*) akibat pengendapan (*sedimentation*) pasir dan lumpur yang terangkut oleh sungai Jeneberang. Namun sejak bendungan Bili-bili dibangun, sedimen yang terangkut tersebut sangat berkurang sehingga tanah tumbuh pun terhenti. Ombak dari laut yang tetap datang setiap tahun akhirnya menggerus daratan yang telah ada itu. Meskipun usaha-usaha perlindungan pantai misalnya dengan groin-groin telah

dilakukan, namun hanya dalam waktu singkat rusak diterjang gelombang (Gambar 1).

Contoh lain lebih dekat lagi, bahkan boleh dikatakan berada di jantung kota Makassar, yaitu Pantai Losari yang terkenal keindahannya itu. Telah beberapa kali terjadi, tembok penahan air yang menjadi pelindung Pantai Losari dari serangan gelombang, ambruk akibat tanah berpasir di bawahnya lubang tergerus ombak dari laut. Dapat dibayangkan betapa besar kerugian yang diakibatkannya, bukan saja berupa biaya yang dibutuhkan untuk membangun kembali, tetapi juga waktu yang terbuang bagi begitu banyak orang akibat kemacetan di daerah yang merupakan pusat bisnis itu.

Ombak yang merusak itu terutama dibangkitkan oleh angin (lihat Bab II). Oleh karena itu pengetahuan tentang pola angin di suatu daerah pantai sangatlah penting untuk menjaga kelestarian morfologi pantai tersebut dan untuk perencanaan bangunan-bangunan pantai seperti pemecah gelombang, tembok penahan, bahkan pelabuhan. Pola angin, yaitu kecepatan angin dan arah datangnya serta variasi-variasinya setiap saat dalam jangka panjang, adalah faktor utama yang menentukan besar gelombang, arahnya dan periodenya. Oleh karena itu



manakala tidak tersedia data gelombang yang riil dari suatu daerah, maka data angin adalah satu-satunya data yang relatif mudah diperoleh untuk memprediksi gelombang untuk perencanaan. Pola angin inilah yang akan menjadi obyek penelitian ini, khususnya untuk daerah pantai sekitar Makassar.



Gambar 1. Suatu senja di Pantai Akkarena, Tanjung Bunga. Tampak konstruksi groin yang sudah hancur dan pantai yang sudah tergerus gelombang, sementara baik anak-anak maupun orang dewasa tetap menggunakan lokasi tersebut untuk rekreasi.

I.2 Identifikasi Masalah

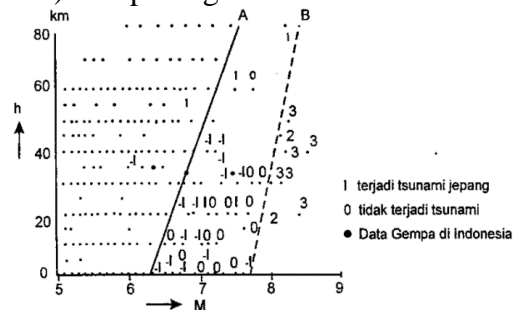
Dari kedua contoh di atas secara kasat mata dapat dilihat bahwa penyebab utama kerusakan morfologi pantai dan bangunan-bangunan pelindung di pantai sekitar Makassar adalah gelombang laut. Sayangnya, jangankan pantai sekitar Makassar, di seluruh Indonesia belum ada pengukuran gelombang laut yang riil dan kontinyu; mungkin di tempat-tempat tertentu pernah ada tetapi hanya untuk penelitian sesaat sehingga datanya tidak memadai untuk peramalan *long-term statistics*, atau pengukuran pada platform-platform minyak milik asing tetapi tidak dipublikasi untuk umum.

Pekerjaan-pekerjaan pantai yang cukup besar seperti pembangunan Dermaga dan Tembok Laut (*Sea Wall*) serta Pemecah Gelombang (*Breakwater*) sering sudah memperhitungkan kekuatan gelombang, tetapi data gelombang diperoleh hanya dari peramalan berdasarkan data angin singkat (*Short Term Statistics*), maximum sepanjang periode perencanaan pekerjaan

bersangkutan yang biasanya tiga sampai enam bulan saja. Memang benar, data angin lazim dipakai untuk meramal gelombang laut tetapi faktor *Return Period (Long Term Statistics)* yang lamanya bisa 30 tahun, 50 tahun, atau bahkan 100 tahun, sesuai vitalnya bangunan bersangkutan, membutuhkan data angin yang cukup panjang; di negara-negara maju (Eropa dan Amerika) data itu diharuskan minimal belasan tahun.

I.3 Batasan Masalah

Ada banyak faktor yang dapat mempengaruhi morfologi maupun bangunan pantai seperti jenis tanah dasar laut, gempa, tsunami, pasang-surut dan sebagainya, namun gelombang yang ditimbulkan oleh angin adalah yang dominan sebagaimana akan dijelaskan lebih detail dalam Bab II. Jenis tanah dasar laut, apakah pasir, lumpur atau batu adalah faktor yang sangat menentukan, tetapi karena studi ini fokus pada pantai sekitar Makassar maka faktor tersebut menjadi variabel yang konstan. Gempa adalah kecil pengaruhnya untuk morfologi dan bangunan pantai di sekitar Makassar mengingat Sulawesi Selatan adalah wilayah dengan risiko gempa kecil; faktor gempa menjadi terlalu *stochastic* dibandingkan dengan pengaruh gelombang akibat angin. Tsunami adalah gelombang laut yang ditimbulkan oleh gempa yang menurut berbagai referensi hanya mungkin terjadi bila intensitas gempa lebih besar dari 6,4 skala Richter (Gambar 2); jadi jelas tidak memenuhi syarat untuk Selat Makassar. Pasang-surut dengan sendirinya turut berpengaruh karena setiap kali meninjau suatu gelombang maka permukaan air yang menjadi referensi adalah permukaan air tenang (*Still Water Level*) dari pasang-surut saat itu.



Gambar 2. Hubungan antara kekuatan gempa (M) dan kedalaman episentrum (h) dengan terbentuknya gelombang tsunami [1].

Jadi gelombang yang ditimbulkan oleh angin merupakan fenomena alam yang paling menentukan bagi kelestarian morfologi pantai dan kestabilan bangunan-bangunan pantai di sekitar Makassar. Oleh karena itu penelitian ini kiranya cukup hanya memfokuskan diri pada studi tentang pola angin jangka panjang di pantai Makassar untuk dapat memberikan data yang *valid* dan *reliable* bagi perencanaan. Peramalan gelombang yang ditimbulkannya cukup mengikuti prosedur-prosedur yang sudah ditetapkan dalam literatur-literatur yang tersedia sehingga tidak akan menjadi topik pembahasan dalam penelitian ini.

I.4 Rumusan Masalah dan Hipotesis

Dalam literatur-literatur tentang cuaca di Indonesia selalu dikatakan bahwa pada Musim Kemarau (Musim Timur) angin yang kering dari Australia bertiup dari arah Barat Daya ke Timur Laut. Sedang pada Musim Hujan (Musim Barat) saat mana banyak angin kencang sampai badai terjadi (angin dominan), dikatakan angin bertiup dari Timur Laut. Pendapat ini banyak dipakai dalam perencanaan bangunan-bangunan pantai termasuk di Sulawesi Selatan. Kenyataannya, kalau kita melihat proses terjadinya tanah tumbuh Tanjung Bunga (Gambar 3), gelombang yang menyerang pantai itu (jadi berarti juga anginnya) seharusnya berasal dari Barat Daya sampai Barat. Perbedaan antara teori dan kenyataan ini (*das sollen* dan *das sein*) menjadi sumber pertanyaan bagi penelitian ini. Pertanyaan-pertanyaan (*Research Questions*) itu dinyatakan dalam Rumusan Masalah sebagai berikut:

- Dari manakah arah angin yang paling berpengaruh (angin dominan) terhadap pantai sekitar Makassar?
- Berapakah kecepatan angin di pantai sekitar Makassar?
- Bagaimanakah variasi-variasi angin di pantai sekitar Makassar?

Dari asumsi bahwa gelombang laut yang ditimbulkan oleh angin adalah pembentuk utama morfologi pantai Makassar sebagaimana yang telah dikemukakan di atas, dan berdasarkan fakta lapangan yang diperlihatkan pada Gambar 3 maka dapatlah diajukan hipotesis di bawah ini sebagai

jawaban sementara atas Rumusan Masalah tersebut di atas, yang akan dibuktikan kebenarannya dalam penelitian ini:

- Angin di pantai sekitar Makassar umumnya datang mulai dari arah Barat Daya, Barat sampai Barat Laut, tetapi angin yang paling berpengaruh adalah dari arah Barat Daya sampai Barat.
- Kecepatan angin bervariasi dari nol sampai puluhan m/s dimana angin yang dominan berasal dari Barat Daya sampai Barat.
- Dalam setahun angin bervariasi terutama berdasarkan musim, yaitu Musim Kemarau dan Musim Hujan, dimana angin yang dominan terjadi pada Musim Hujan. Dalam jangka panjang arah angin dominan tetap dari Barat Daya sampai Barat.



Gambar 3. Peta kota Makassar dengan *spit* Tanjung Bunga sebelum pembangunan *Centre Point of Indonesia* (COP).

I.5 Tujuan dan Kegunaan Penelitian

Pekerjaan-pekerjaan pelestarian pantai seperti *beach nourishment*, tembok laut (*Sea Wall*), pemecah gelombang sampai pembuatan pelabuhan laut memerlukan data gelombang rencana (boleh dari data angin) yang akurat. Tanpa data yang baik, kemungkinan besar konstruksi yang baru dibangun akan segera gagal diterjang gelombang atau terlampaui mahal karena kekuatannya berlebihan (meskipun yang terakhir ini jarang terjadi di Indonesia). Dengan adanya data angin yang cukup untuk meramal gelombang rencana baik untuk jangka pendek maupun jangka panjang (30, 50, 100 tahun sesuai

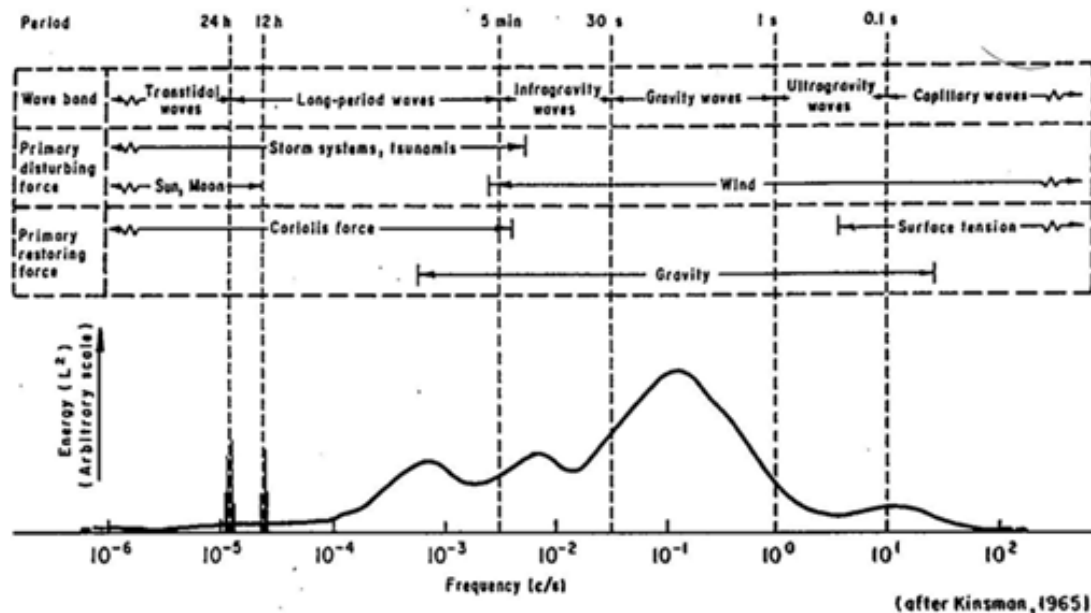
ketentuan) maka akan diperoleh hasil perencanaan yang optimum, dengan kata lain ekonomis dan tepat guna. Itulah tujuan sekaligus manfaat dari penelitian yang diusulkan ini.

II. Landasan Teori dan Kerangka Berfikir

II.1 Angin Membangkitkan Gelombang

Sub-bab ini memberikan sekedar penjelasan yang menjadi dasar dari kerangka berfikir yang dikemukakan dalam bab terdahulu secara umum, khususnya sebagai landasan teori bagi pengajuan hipotesis seperti yang dikemukakan dalam sub-bab “Rumusan Masalah dan Hipotesis”. Seperti yang telah diuraikan di bab terdahulu, ada banyak faktor yang dapat mempengaruhi morfologi maupun bangunan pantai seperti jenis tanah dasar laut, gempa, tsunami, pasang-surut dan sebagainya, namun gelombang yang ditimbulkan oleh angin adalah yang dominan untuk kasus pantai Makassar.

Shore Protection Manual [2] menunjukkan bahwa gelombang laut yang mengandung energi yang paling banyak adalah kelompok gelombang yang dibangkitkan oleh angin (Gambar 4). Artinya kelompok gelombang inilah yang dapat menimbulkan tekanan (kerusakan) yang paling besar baik terhadap morfologi maupun bangunan di pantai. Dari kelompok ini, yang paling besar kandungan energinya adalah kelompok *Gravity Waves*. Karena itu gelombang-gelombang dari kelompok inilah yang paling banyak dipelajari dalam bidang Teknik Pantai klasik. Akan tetapi teori-teori yang matematis tentang bagaimana energi yang terkandung dalam angin dipindahkan ke energi gelombang laut sangatlah rumit dan masih terlalu bersifat hipotesis sehingga baik dalam teori maupun dalam praktek yang dipakai adalah rumus-rumus atau nomogram-nomogram yang diperoleh secara induktif dari pengamatan-pengamatan di lapangan.



Gambar 4. Approximate distribution of ocean surface wave energy illustrating the classification of surface waves by wave band, primary disturbing force, and primary restoring force [2].

Salah satu nomogram yang paling banyak dipakai adalah buatan Sverdrup, Munk, dan Bretschneider yang dikenal sebagai SMB Method (Gambar 5) dari *Shore Protection Manual* [2]. SMB Method menunjukkan bahwa arah angin, kecepatannya, dan panjang wilayah bertiupnya angin (*fetch*) adalah faktor-faktor yang paling

menentukan terhadap tinggi dan periode gelombang. Arah gelombang tidak disebutkan lagi karena dengan sendirinya mengikuti arah angin, kecuali ada refraksi atau difraksi yang membelokkan arah gelombang.

Wilayah pembangkitan gelombang (*fetch*) sama dengan wilayah bertiupnya angin yang mana

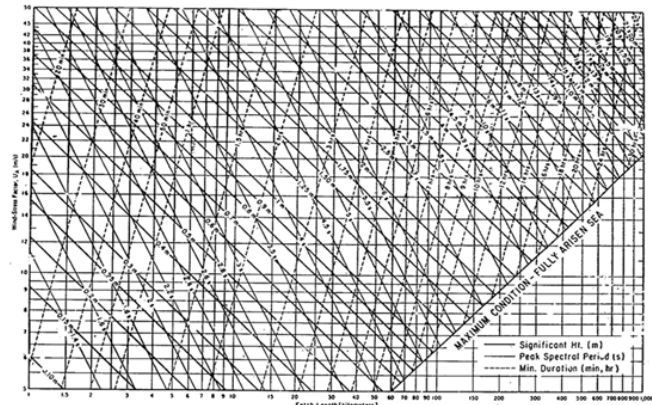
bisa berupa suatu wilayah di tengah samudra di mana terjadi tekanan udara *drop* tanpa terhubung ke suatu pantai dari pulau atau benua. Gelombang yang terjadi menjalar sampai ke pantai tanpa anginnya; gelombang ini disebut *swell* dengan ciri teratur hampir-hampir seperti gerakan harmonis. Keadaan seperti ini biasanya pada samudra-samudra yang besar seperti Samudra Pacific atau Atlantic dsb. Pada kepulauan seperti Indonesia dimana lautan-lautan relatif sempit, panjang fetch ini meliputi seluruh panjang lautan antar pulau atau selat yang bersangkutan. Untuk pantai sekitar Makassar maka panjang fetch adalah selebar Selat Makassar atau Laut Jawa, tergantung dari mana arah angin yang ditinjau. Ciri gelombangnya tidak beraturan dan gelombang datang bersama anginnya. Hal ini bisa dilihat di Pantai Losari, Makassar, pada setiap terjadinya badai. Pembahasan tentang gelombang tidak dilanjutkan lagi karena diluar jangkauan penelitian ini.

II.2 Anomali Pantai Makassar

Yang menjadi pertanyaan adalah, arah angin sebagaimana yang dikemukakan dalam literatur-literatur di Indonesia tidak sejalan dengan arah gelombang yang membentuk morfologi pantai Makassar. Menurut literatur-literatur itu (misalnya Anugerah Nontji, 1987, dalam [3], pada musim hujan yaitu Oktober – April dengan puncak pada Januari – Februari, angin bertiup dari Samudera Pasifik dari arah Timur Laut kemudian oleh pengaruh khatulistiwa angin berubah arah menjadi dari Barat Laut untuk Indonesia bagian Selatan, jadi untuk wilayah Makassar seharusnya angin dari arah Barat Laut; sebaliknya pada musim kemarau yang puncaknya terjadi pada bulan-bulan Juli – Agustus – September, angin berasal dari sekitar benua Australia jadi dari Tenggara kemudian di khatulistiwa berbelok arah menjadi dari Barat Daya untuk Indonesia bagian Utara, jadi untuk pantai Makassar pada musim kemarau angin berasal dari Tenggara. Angin kencang sampai badai umumnya terjadi pada musim hujan.

Kenyataannya, pembentukan muara dan tanah-tanah tumbuh (*spits*) di pantai Makassar, seperti Tanjung Bunga dan muara sungai Tallo sebagaimana diperlihatkan oleh Gambar 3,

menyatakan dengan jelas bahwa gelombang datang dari arah Barat Daya sampai Barat. Sebuah foto satelit yang dikeluarkan oleh Google Earth Pro, yang merekam gelombang di pantai Tanjung Bunga pada suatu badai di tahun 2009 (Gambar 6), menunjukkan dengan jelas arah datangnya gelombang-gelombang besar yaitu Barat Daya. Refleksi dari gelombang seperti inilah yang menggerus pantai Makassar yang tidak terlindung dan membawa sedimen ke arah Utara.



Gambar 5. Nomograms of deepwater significant wave prediction curves as functions of windspeed, fetch length, and wind duration metric units (SMB Method-Sverdup, Munk, Bretschneider)



Gambar 6. Arah gelombang pada suatu badai tahun 2009 di Pantai Akkarena, Tanjung Bunga, terlihat jelas dari arah Barat Daya. (Sumber: foto satelit Google Earth Pro)

III. Materi dan Metode Penelitian

III.1 Data Angin

Data angin diperoleh langsung dari Balai Besar Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah IV Makassar. Data ini direkam secara

'real time' di Stasiun Maritim Paotere yang terletak tepat di tepi laut pantai Makassar pada koordinat 5^o06'37.63" LS dan 119^o25'11.61" BT (Google Earth). Alat ukur anemometer yang terpasang di lapangan terbuka pada ketinggian 10 meter di atas permukaan tanah mengirim data kecepatan dan arah angin setiap saat langsung ke sistem komputer yang terpasang dalam kantor Stasiun yang terletak di dekatnya. Data direkam berupa kecepatan angin rata-rata dan maksimum (*wind gust*) per jam dan dikirimkan langsung ke BMKG di Jakarta dan ke pusat pengelolaan data cuaca global.

Data yang diberikan oleh BMKG Makassar untuk penelitian ini adalah data kecepatan angin harian rata-rata dan terbesar serta arahnya yang diolah oleh pihak BMKG sendiri berdasarkan data per jam di atas. Lamanya data adalah 20 tahun kontinyu, sehingga cukup *valid* untuk dipakai baik langsung dalam suatu perencanaan maupun untuk peramalan jangka panjang. Data asli BMKG ini tidak dapat disajikan seluruhnya di sini karena terbatasnya ruang untuk tulisan ini.

Mirip dengan distribusi tinggi gelombang yang ditimbulkannya, distribusi kecepatan angin mengikuti *Rayleigh distribution* dimana nilai-nilai yang kecil memiliki frekuensi yang sangat tinggi dibandingkan dengan nilai-nilai yang besar. Untuk dapat membangkitkan gelombang, kecepatan angin harus cukup besar dan cukup lama bertiup (durasi angin). Angin kategori *calm* (Beaufort Scale 0 – 0,51 m/s) sampai 'angin lemah' (gentle breeze 3,5 – 5,1 m/s) tidak dapat membangkitkan gelombang yang berarti meskipun durasinya cukup lama, sebaliknya meskipun terjadi angin yang besar tetapi durasinya sangat singkat tidak dapat pula terjadi gelombang. Oleh karena itu 'Data Kecepatan Angin Rata-rata' dari BMKG itu tidak dapat dipakai dalam analisis "angin pembangkit gelombang"; data BMKG yang dipakai dalam analisis ini adalah "Data Kecepatan Angin Terbesar" dan "Data Arah Angin Terbesar" harian.

III.2 Metode Analisis

Dalam pencatatan data angin seperti yang dilakukan oleh BMKG di Stamar (stasiun maritim) Paotere itu, angin dicatat kontinyu hanya selama 10 menit tepat sebelum jam yang dimaksudkan. Data ini kemudian dirata-ratakan untuk 10 menit itu dan dipandang sama dengan rata-rata dari satu jam yang dimaksudkan itu, namun kecepatan maximum yang tercatat selama 10 menit itu dicatat pula tersendiri dan disebut '*extreme velocity*' atau dalam istilah sehari-harinya '*wind gust*'. Nilai rata-rata dari seluruh jam dalam sehari dirata-ratakan pula untuk mendapatkan 'angin rata-rata harian', sedang nilai terbesar dari *wind gusts* sepanjang hari bersangkutan dicatat sebagai 'angin terbesar harian'. Angin terbesar harian yang tercatat dalam Data Kecepatan Angin Terbesar dari BMKG itu diolah menurut metode yang diuraikan dalam Coastal Engineering Manual [4] untuk mendapatkan kecepatan-kecepatan angin yang dapat membangkitkan gelombang.

Langkah pertama, angin dengan *extreme velocity* dipandang sebagai '*fastest mile windspeed*'. *Fastest mile windspeed* adalah kecepatan angin terbesar dalam menempuh jarak satu mil (1609 m), diberi simbol μ_f . Meskipun kecepatan ini cukup besar namun durasinya biasanya sangat singkat, umumnya kurang dari 2 menit, sehingga belum dapat membangkitkan gelombang; namun dalam proses naik dan turunnya dari kecepatan maksimum ini terdapat kecepatan angin yang cukup besar selama beberapa waktu yang mampu membangkitkan gelombang. Sebagai contoh, kecepatan angin terbesar pada tanggal 8 Februari 2000 adalah 26 knot (26 mil laut per jam) maka:

$$\mu_f = \frac{26 \times 1852}{3600} = 13.4 \text{ m/s} \quad (1)$$

Langkah kedua menghitung durasi dari *fastest mile windspeed (duration averaged)*:

$$t_{\mu_f} = \frac{1609}{\mu_f} = 13.4 \text{ s} \quad (2)$$



Langkah ketiga, menghitung *1-hour averaged windspeed* yaitu kecepatan angin rata-rata dalam satu jam:

$$\frac{\mu_f}{\mu_{3600}} = 1.277 + 0.296 \tanh \left\{ 0.9 \log_{10} \left(\frac{45}{t_{\mu_f}} \right) \right\} \quad (3)$$

$$\mu_{3600} = \frac{\mu_f}{1.28} = 10.5 \text{ m/s}$$

Inilah kecepatan angin rata-rata yang bertiup selama satu jam yang dapat membangkitkan gelombang. Seluruh data kecepatan angin terbesar dari BMKG itu dikonversi ke μ_{3600} menggunakan *spreadsheets*. Bersama dengan data arah angin terbesar, *joint distribution* antara kecepatan dan arah dengan frekuensinya dihitung dan disajikan dalam bentuk *radar chart* yang dikenal sebagai *WindRose*. Karena data yang diolah mencapai puluhan ribu maka proses pengolahannya dilakukan dengan paket program *WRPLOT*®.

IV. Hasil

Hasil pengolahan data dengan *WRPLOT*® disajikan dalam Gambar 7, 8 dan 9 berupa diagram-diagram *windrose* untuk seluruh periode data yaitu 20 tahun. Kecepatan angin dibagi atas 6 kelompok yang umum dipakai diluar kelompok *calm* (kecepatan 0 – 0.5 m/s). Perlu diingatkan bahwa pada diagram-diagram *windrose* dalam tulisan ini kelompok *calm* selalu 0.00% karena memang nilai-nilai yang dipakai diperoleh dari 'kecepatan angin terbesar harian', bukan dari nilai rata-rata harian dimana terkandung banyak nilai *calm*. Kelompok pertama meliputi angin dengan kecepatan 0.5 – 2.1 m/s, kelompok kedua 2.1 – 3.6 m/s, kelompok ketiga 3.6 – 5.7 m/s, kelompok keempat 5.7 – 8.8 m/s, kelompok kelima 8.8 - 11.1 m/s dan kelompok keenam ≥ 11.1 m/s. Arah datangnya angin dibagi atas 8 kelompok sesuai 8 arah mata-angin utama yaitu North (0°), North-East (45°), East (90°), South-East (135°),

South (180°), South-West (225°), West (270°), dan North-West (315°). Kesimpulan dari hasil-hasil analisis di atas diuraikan di bawah ini.

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Dari hasil pembahasan dan analisis yang disajikan dalam bentuk diagram-diagram *windrose* di atas dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Ciri angin pembangkit gelombang selama musim kering dan musim hujan mempunyai karakteristik-karakteristik yang berbeda tapi juga punya kesamaan. Perbedaan, dalam musim hujan kecepatan angin dapat mencapai nilai-nilai kelompok terbesar (kelompok keenam) yaitu ≥ 11.1 m/s, sedang dalam musim kemarau kecepatan angin maksimum mencapai kelompok keempat (5.7-8.8 m/s). Arah angin utama dalam musim hujan bervariasi dari arah Barat Daya sampai dengan Barat Laut, sedang dalam musim kering didominasi arah Barat Daya sampai Barat. Kesamaan, baik dalam musim kering maupun dalam musim hujan arah angin dari Barat tetap signifikan.
2. Data yang menyajikan distribusi gabungan kecepatan dan arah angin selama 20 tahun menunjukkan bahwa arah angin yang dominan adalah dari Barat Daya sampai Barat Laut dan memperkuat kesimpulan dalam point 1 bahwa arah angin terbanyak adalah dari Barat. Angin yang termasuk dalam kategori keenam (≥ 11.1 m/s) meliputi sekitar 5% dari angin yang tercatat selama 20 tahun. Angin terbesar yang terjadi hanya sekali selama pencatatan 20 tahun adalah 89 knot (45.4 m/s) dari arah Utara terjadi pada tanggal 8 Juni 2007.
3. Apa yang diprediksi dalam hipotesis penelitian ini telah terbukti, namun masih ada tersisa pertanyaan untuk penelitian lebih lanjut yaitu mengapa angin dari Tenggara yang seharusnya mendominasi angin musim kering ternyata tidak signifikan? Apakah pengaruh selat-selat dan laut (dalam hal ini Laut Jawa dan Selat Makassar) sedemikian kuat sehingga berperilaku seperti terowongan angin?



V.2 Saran

1. Meskipun telah terbukti bahwa angin terbanyak berasal dari Barat Daya, Barat dan Utara namun yang dominan adalah dari Barat. Ini tidak terlalu sesuai dengan arah datangnya gelombang yang membentuk *spits* seperti Tanjung Bunga dan muara sungai Tallo dimana logikanya angin dominan seharusnya berasal dari Barat Daya. Perlu penelitian lebih lanjut apakah terjadi refraksi gelombang yang dari arah Barat.
2. Perlu penelitian prediksi gelombang yang dibangkitkan oleh angin yang diperoleh dari penelitian ini. Prediksi gelombang yang baik akan sangat berguna bagi perencanaan perlindungan pantai dan bangunan-bangunan pantai sehingga diperoleh konstruksi-konstruksi yang aman, ekonomis dan berwawasan lingkungan.
3. Perlu pula penelitian lanjutan mengenai pengaruh selat-selat dan laut-laut yang membagi pulau-pulau di Indonesia. Sejauh mana mereka berperan dalam membelokkan arah angin-angin musim global? Hal ini sangat bermanfaat untuk perencanaan setiap pantai di Indonesia secara spesifik.

Kepustakaan

- [1] B. Triatmodjo, *Teknik Pantai*. Beta Offset, Yogyakarta, 1999.
- [2] Waterways Experiment Station. *Shore Protection Manual (SPM)*. U.S. Army Corps of Engineers, Washington D.C., 1984.
- [3] B. Triatmodjo. *Teknik Pelabuhan*. Beta Offset, Yogyakarta, 2009.
- [4] Coastal and Hydraulics Laboratory (CHL). *Coastal Engineering Manual (CEM)*. U.S. Army Corps of Engineers, Washington D.C., 2008.
- [5] F. Rabung, *A Study on King Island's Grassy Rubble-mound Breakwater Trunk Design by One-tenth Scale Model Tests*. Master Thesis, Faculty of Engineering, Monash University, Clayton, Australia, 1993.

