

ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI DI PANTAI BARAT DAYA PULAU TERNATE, PROVINSI MALUKU UTARA

(SHORELINE CHANGE ANALYSIS OF THE SOUTH WEST COAST AT TERNATE ISLAND, NORTH MOLUCAS PROVINCE)

Abdul Motalib Angkotasan², I Wayan Nurjaya³, Nyoman M N Natih^{1,3}

¹Corresponding author

²Departemen Ilmu Kelautan Universitas Khaerun, Ternate

³Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor
E-mail: natih1406@yahoo.com

ABSTRACT

Research is a Shoreline Change Analysis along the South West Coast Ternate Island, North Molucas Province. This study aims to assess the shoreline changes from 2001 to 2011. The research was motivated by the reality on the Southwest Coast Ternate Island, accrued abrasion and sedimentation to residential areas. There has been no comprehensive study on the extent of shoreline change is happening, and what are the factors that cause these changes. The purpose of this study was to analyze shoreline changes that occur in the Southwest Coast Ternate island. Shoreline change analysis is done using two approaches that use DHI MIKE LITPACK models and digitized images using Landsat 7 ETM+. The results of image analysis used as a benchmark to validate the model output DHI MIKE LITPACK. Mixed model analysis results collated with the results of image analysis showed patterns of changes in the contour of the same coastline. Based on the analysis model, showed the highest abrasion occurs distasiun C (Sasa Coast) as far as 83.67 m and sedimentation occurred at station B as far as 45.69 m, based on the results of image analysis the highest abrasion occurred at station C of 27.14 m and sedimentation occurred at station E of 24.09 m. The amount of abrasion and sedimentation is affected by wave action that occurs and sand mining activities by the community in Southwest coast of the island of Ternate.

Keywords: Shoreline changes, DHI MIKE models, Landsat imagery, abrasion, sedimentation

ABSTRAK

Penelitian ini tentang analisis perubahan garis pantai di pantai Barat Daya Pulau Ternate, Provinsi Maluku Utara. Kajian ini dilakukan untuk menganalisis perubahan garis (abrasi dan sedimentasi) selama 11 tahun dari tahun 2001-2011. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh realitas di Pantai Barat Daya Pulau Ternate yang telah mengalami abrasi dan sedimentasi sampai ke pemukiman warga. Belum ada kajian yang komperhensif mengenai seberapa besar tingkat perubahan garis pantai yang terjadi, dan faktor-faktor apa saja yang menyebabkan terjadinya perubahan tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk transformasi gelombang dan perubahan garis pantai yang terjadi di Pantai Barat Daya Pulau Ternate. Analisis perubahan garis pantai dilakukan dengan menggunakan dua pendekatan yakni menggunakan model LITPACK MIKE DHI dan digitasi citra menggunakan citra landsat 7 ETM+. Hasil analisis citra dijadikan sebagai pembandingan untuk memvalidasi hasil keluaran model LITPACK MIKE DHI. Tumpang susun hasil analisis model dengan hasil analisis citra menunjukkan pola kontur perubahan garis pantai yang sama. Berdasarkan hasil analisis model, menunjukkan abrasi tertinggi terjadi di stasiun C (Pantai Sasa) sejauh 83.67 m dan sedimentasi terjadi di stasiun B sejauh 45.69 m, berdasarkan hasil analisis citra abrasi tertinggi terjadi di stasiun C sebesar 27.14 m dan sedimentasi terjadi di stasiun E sebesar 24.09 m. Besarnya abrasi dan sedimentasi dipengaruhi oleh aksi gelombang yang terjadi dan aktivitas penambangan pasir oleh masyarakat di pantai Barat Daya Pulau Ternate.

Kata kunci: Perubahan garis pantai, Model MIKE DHI, citra Landsat, abrasi, sedimentasi

I. PENDAHULUAN

Morfologi pantai Kota Ternate telah mengalami perubahan baik abrasi maupun sedimentasi yang terjadi karena aktivitas manusia dan dinamika alam. Faktor aktivitas manusia diantaranya reklamasi pantai untuk pengembangan kota pantai yang memicu terjadinya perubahan pola arus dan kecepatan arus

menyusur pantai pada wilayah yang tidak direklamasi. Rusaknya hutan mangrove dan terumbu karang karena dieksplotasi oleh masyarakat sehingga menurunkan fungsi dan peran kedua ekosistem tersebut sebagai *buffer* alami peredam gelombang dari laut dalam. Penambangan bahan galian C berupa pasir dan batu di pantai yang mengurangi daya dukung pantai untuk

meredam energi gelombang yang menerjang pantai. Faktor alamiah yang menyebabkan kerusakan kawasan pantai di Pulau Ternate adalah aksi gelombang dengan intensitas yang tinggi dan energi yang terpusat, tinggi gelombang di Pulau Ternate pada musim Timut Laut bisa mencapai 1 m di dekat pantai. Gelombang pecah terjadi dekat dengan garis pantai, menyebabkan energi gelombang yang terhamburkan setelah gelombang pecah, terpusat pada garis pantai yang memicu terjadinya perubahan garis pantai pada daerah-daerah tertentu. Untuk itu diperlukan adanya kajian mengenai dinamika oseanografi yang memicu terjadinya perubahan garis pantai, salah satu kajian yang penting adalah kajian mengenai gelombang. Analisis gelombang dapat berupa tinggi dan periode gelombang serta analisis transformasi gelombang.

Perubahan garis pantai yang terjadi disebabkan oleh adanya abrasi dan akresi, penyebab utama abrasi dan akresi adalah aksi gelombang, angin dan pasang surut. Terdapat tiga proses dinamis penting yang mempengaruhi bentuk pantai yakni aksi gelombang, angin dan pasang surut. Proses yang paling penting adalah aksi gelombang. Saat bergerak menuju pantai, gelombang mengalami transformasi yang kemudian membangkitkan arus di dekat pantai. Arus yang bergerak di sepanjang

pantai memindahkan sedimen sehingga menyebabkan perubahan garis pantai (Doornkamp & King, 1971). Untuk menyelesaikan persoalan perubahan garis pantai maka perlu adanya penelitian dan pengembangan model guna memprediksi pola perubahan garis pantai. Salah satu cara untuk memprediksi perubahan garis pantai yaitu melalui model numerik (Dean & Zheng, 1997; Elfrink & Baldock, 2002).

Beberapa penelitian tentang transformasi gelombang yang pernah dilakukan diuraikan pada Tabel 1.

Kajian tentang dinamika oseanografi di Perairan Pulau Ternate difokuskan pada dua variabel penting dalam dinamika oseanografi yakni gelombang dan pasang surut. Variabel angin dan topografi perairan juga dijadikan sebagai objek kajian, karena kedua variabel ini sangat berhubungan erat dengan proses transformasi gelombang. Angin berperan sebagai pembangkit gelombang dan topografi perairan berhubungan dengan pengaruh friksi dasar perairan dalam proses transformasi gelombang. Gelombang yang merambat menuju ke perairan dangkal akan mengalami disipasi akibat berbenturan dengan friksi dasar, menyebabkan terjadinya gelombang pecah. Gelombang pecah terjadi karena panjang gelombang lebih besar dari kedalaman dasar perairan.

Tabel 1. Penelitian-penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya

Peneliti	Tentang	Transformasi Gelombang
Elfrink <i>et al.</i> , 2002	Perubahan garis pantai akibat aksi gelombang menggunakan model Mike 21 NSW DHI.	Menggunakan Program NSW untuk menganalisis transformasi gelombang di Teluk Walvis, Namibia.
Kennedy <i>et al.</i> , 2000	Model transformasi gelombang dan gelombang pecah.	Analisis numerik transformasi gelombang.
Sakka <i>et al.</i> , 2012	Transformasi gelombang di sepanjang Delta Sungai Janebarang, Makassar, Sulawesi Selatan.	Menganalisis transformasi gelombang menggunakan program <i>vicual basic</i> untuk melihat transformasi gelombang yang berdampak pada proses abrasi dan akresi.

Kajian dinamika oseanografi dilakukan untuk menganalisis transformasi gelombang di laut lepas yang dibangkitkan oleh angin. Kajian ini sangat penting, mengingat karena gelombang yang bergerak menuju pantai akan mengalami transformasi, menghasilkan refraksi dan disipasi yang memicu terjadinya arus menyusur pantai. Arus menyusur pantai menyebabkan terjadinya angkutan sedimen sepanjang pantai dan perubahan garis pantai.

II. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Waktu dan lokasi penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Pulau Ternate mulai dari Pantai Rua sampai Pantai Ngade, lokasi penelitian terletak di bagian Barat Daya Pulau Ternate (Gambar 1). Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November tahun 2011 sampai bulan Juni tahun 2012 berupa pengambilan data dan analisis data. Simulasi hasil analisis transformasi gelombang menggunakan model Mike 21 yang dikembangkan oleh DHI *water environment health*. Analisis perubahan garis pantai menggunakan simulasi model MIKE 21 DHI yang dibandingkan dengan hasil digitasi garis pantai menggunakan citra Landsat. Hasil pengolahan data tersebut selanjutnya dideskripsikan.

2.2. Teknik Pengumpulan data

Pengambilan data lapangan meliputi data kecepatan dan arah angin harian dari tahun 2001-2011 diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Ternate. Data pasang surut diukur menggunakan rambu ukur (*palm staff*) yang dipasang di pantai selama 72 jam tiap 30 menit. Pengamatan pasang surut dilakukan pada tanggal 7-9 November 2011. Data pengamatan tersebut digunakan sebagai validasi data pasang surut pada Model MIKE 21, data pasang surut juga diperoleh dari BPPT RI.

Data kedalaman diperoleh dari hasil pengukuran (*sounding bathymetry*) menggunakan *echosounder* dan data posisi geografis ditentukan mengguna-

kan GPS Garmin 65. *Sounding bathymetry* dilakukan di area penelitian selama 1 hari menggunakan *speed boat*, dengan metode zigzag (Gambar 1). Perubahan garis pantai dianalisis menggunakan Model MIKE 21 DHI dan digitasi Citra.

2.3. Teknik Analisis data

Data yang telah terkumpul dianalisis dengan menggunakan perangkat lunak analisis data (*software*) dan metode analisis numerik untuk menghasilkan data dan informasi yang dibutuhkan (Tabel 2).

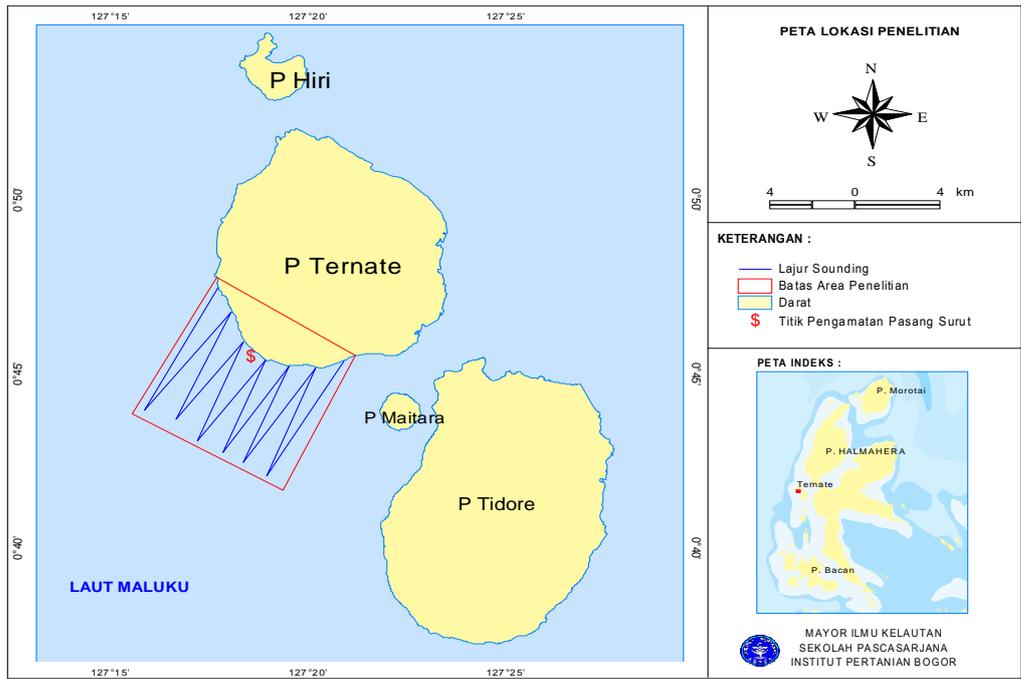
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Profil pantai

Pesisir pantai Pulau Ternate (lokasi penelitian), terdapat dua karakteristik pantai yaitu pantai berpasir dan berbatu, akan tetapi secara keseluruhan didominasi oleh pantai berpasir. Geomorfologi dasar perairan Pulau Ternate dipengaruhi oleh energi gelombang yang berasal dari Laut Maluku, karena Pulau Ternate merupakan pulau kecil, berada di daerah terbuka yang langsung berhadapan dengan Laut Maluku.

Geomorfologi dasar perairan Pulau Ternate dipengaruhi oleh energi gelombang dengan intensitas tinggi yang berasal dari Laut Maluku. Pulau Ternate juga sangat merasakan dampak dari adanya arus lintas Indonesia yang berasal dari Samudra Pasifik menuju Samudra Hindia pada musim Timur dan ketika musim Barat arus lintas Indonesia bergerak menuju Samudra Pasifik. Pola arus ini mempengaruhi transport sedimen penyusun topografi dasar perairan. Menurut Gordon & Fine (1996) Arus Lintas Indonesia yang berasal dari Samudra Pasifik bergerak menuju Selatan melalui Laut Maluku, nilai transport masa airnya berkisar antara 2,6-18.5 Sv ($1 \text{ sv} = 1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$).

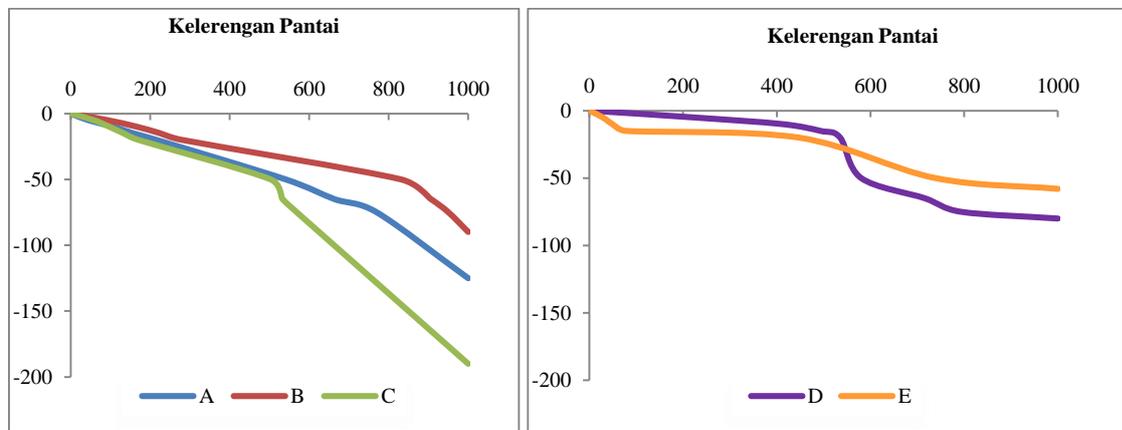
Pantai Rua di stasiun A memiliki kelerengan yang curam, stasiun B di pantai Kastela memiliki kelerengan yang agak landai, kontur kelerengan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian dan area *sounding batimetry*

Tabel 2. Metode analisis data

Jenis data	Metode
Angin	Analisis menggunakan <i>software</i> WRPLOT
Pasang surut	Pengukuran lapangan, Prediksi menggunakan <i>software</i> Mike 21 DHI
Batimetri	<i>Software</i> Surfer 9 dan Arcview 3.3
Gelombang	Persamaan Transformasi USEC, dianalisis menggunakan Microsoft Excel 2007
Transformasi gelombang	<i>Software</i> Mike 21 DHI modul <i>Nearshore Spectral Wave (NSW)</i>
Citra Landsat tahun 2001 dan tahun 2011	Digitasi garis pantai menggunakan program Arcview dan Ermapper



Gambar 2. Grafik kelerengan pantai pada stasiun A, B, C, D dan E

Hasil analisis kelerengan pantai yang tertera pada Gambar 2, menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara kelerengan pantai di stasiun A, B, C, dan D dengan stasiun E. Di stasiun E kelerengannya sangat curam jika dibandingkan dengan stasiun yang lain. Pada stasiun ini kedalaman laut 10 m berada pada jarak 52 m dari garis pantai dan kedalaman 80 m pada jarak 1000 m tegak lurus dari garis pantai, merupakan pantai yang curam.

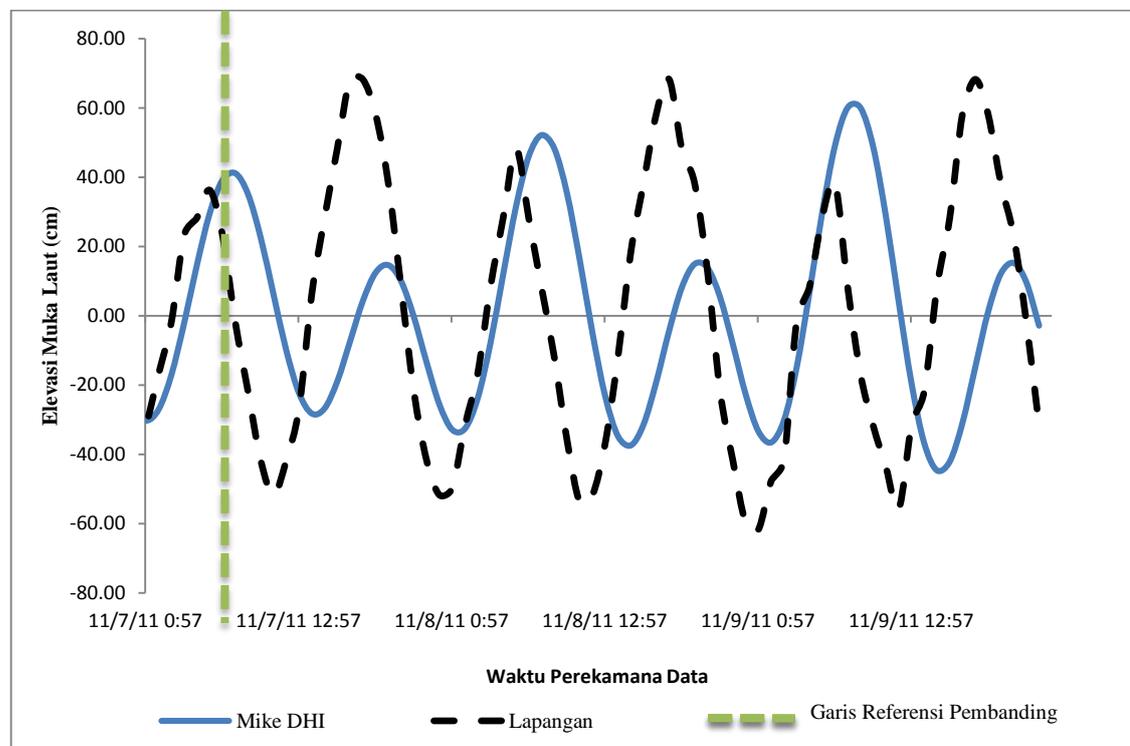
Kelerengan pantai stasiun A (Pantai Rua) dan stasiun B (Pantai Kastela) berkisar antara 9-12.5 %, stasiun C (Pantai Jambula) dan stasiun D (Pantai Sasa) memiliki kelerengan pantai berkisar antara 19-21 %. Lereng pantai di perairan Kalumata di stasiun E (Pantai Ngade sampai Pantai Fitu) berkisar anantara 8-21%.

3.2. Pasang surut

Data dan informasi tentang pasang surut dalam penelitian ini sangat dibutuhkan untuk memvalidasi nilai kedalaman yang sebenarnya. Dimana nilai kedalaman hasil pengukuran di lapangan dengan *echosonder*, harus dikoreksi dengan

nilai *mean sea level* (MSL) pasang surut untuk mendapatkan nilai kedalaman yang sebenarnya. Nilai pasang surut diperoleh dari beberapa sumber yakni hasil pengukuran selama 3 x 24 jam mulai dari tanggal 7 sampai 9 November tahun 2011, data hasil prediksi menggunakan *software* model Mike 21 DHI Hasil pengukuran selama 3 hari dibutuhkan untuk memvalidasi data pasang surut yang ada di model Mike 21 DHI. Elevasi muka laut hasil prediksi Mike 21 DHI dan pengukuran pasang surut selama 3 hari menunjukkan tipe pasang surut campuran ganda, Gambar 3.

Pasang surut di perairan Asia Tenggara memiliki perbedaan antara satu tempat dengan tempat yang lain, dipengaruhi oleh variasi periodik terhadap waktu dari suatu hasil pengukuran (osilasi) yang terjadi antara Samudra Pasifik dengan samudra Hindia. Pasang surut di Laut Jawa dan Laut Cina Selatan didominasi oleh pasang surut tipe diurnal, sedangkan di wilayah kepulauan bagian Timur didominasi oleh pasang surut tipe campuran (Wyrtki, 1961).



Gambar 3. Pasang surut hasil prediksi BPPT RI

3.3. Arah dan kecepatan angin

Angin memberikan kontribusi yang sangat besar terhadap proses perubahan garis pantai yang terjadi, karena angin merupakan salah satu variabel yang membangkitkan gelombang, semakin besar kecepatan hembusan angin maka semakin tinggi pula gelombang yang akan dihasilkan. Variabel angin digunakan sebagai pembangkit gelombang di laut dalam. Arah dan kecepatan angin selanjutnya digunakan untuk menghitung tinggi dan periode gelombang.

Berdasarkan data perhitungan persentase kecepatan angin, menunjukkan bahwa selama 11 tahun (dari tahun 2001-2011) arah angin dominan dari arah Barat Laut sebesar 23.64 %, arah Selatan 20.42 % dan arah Barat sebesar 15.77 %. Kecepatan angin harian berkisar antara 3.6 - 5.7 m/s (36.0 %) dan berkisar antara 2.1 - 3.6 (30.1 %) (Gambar 4).

Hasil analisis data, arah dan kecepatan angin selama 11 tahun dari tahun 2001 sampai tahun 2011 menghasilkan persentase kecepatan dan arah angin harian. Persentase ini menunjukkan bahwa angin yang bertiup di Pulau Ternate pada musim Timur Laut kecepatannya lebih tinggi bila dibandingkan dengan musim Tenggara.

Pada musim Timur Laut (Musim Barat di Jawa) angin bertiup dari daratan Sulawesi menuju Laut Maluku yang menyusuri Pulau Ternate. Pada musim Tenggara (musim Timur di Pulau Jawa) disaat angin bertiup dari Tenggara menuju ke Barat Laut, angin terhalang oleh daratan Halmahera sehingga kecepatan angin rendah. Pada musim Tenggara angin lebih dominan bergerak dari arah Selatan menuju ke Utara dengan persentase kecepatan 20.42%. Letak geografis Pulau Ternate yang berhadapan langsung dengan laut terbuka yakni Laut Maluku, mendapatkan dampak yang besar dari pola angin pada musim Timur Laut. Posisi lokasi penelitian berada di Pantai Barat Daya Pulau Ternate, sehingga daerah ini mendapatkan dampak yang besar dari adanya pergerakan angin yang menimbulkan gelombang menuju ke pantai.

3.4. Tinggi dan periode gelombang

Tinggi gelombang di lokasi penelitian berkisar antara 0.02 m sampai 2.07 m, dipengaruhi oleh kecepatan dan arah angin serta panjang *fetch*. Tinggi gelombang sebesar 2 m terjadi pada bulan Agustus di tahun 2001 dan tahun 2009, bertepatan dengan musim Timur Laut di Ternate (Musim Barat di Jawa). Ketinggian gelombang ini dipengaruhi oleh besarnya kecepatan angin yang bertiup dari arah Barat Laut menuju Pulau Ternate. Berdasarkan hasil pengukuran nilai panjang *fetch* di bagian barat melebihi 200 km sehingga yang digunakan adalah 200 km yakni jarak antara Pulau Ternate dengan Sulawesi Utara.

Faktor utama yang mempengaruhi tinggi gelombang yang dibangkitkan oleh angin adalah kecepatan angin rata-rata, lamanya waktu angin bertiup (durasi), jarak dimana angin bertiup (*fetch*) dan kekasaran muka laut (*sea state*). Kombinasi ketiga faktor ini akan menghasilkan gelombang dengan tinggi yang berbeda. Semakin besar nilai-nilai dari faktor kecepatan angin, durasi dan panjang *fetch* maka akan menghasilkan gelombang yang lebih tinggi. Gelombang dibangkitkan oleh angin di laut lepas, pergolakan angin menyebabkan perubahan arah dan kecepatan gelombang serta karakteristik dari gelombang yang akan dibangkitkan. Ketika gelombang merambat menuju pantai, maka terjadi gelombang pecah dimana arah dan ketinggian gelombang akan mengalami perubahan akibat pengaruh gesekan dasar perairan (Pierson *et al.*, 1995).

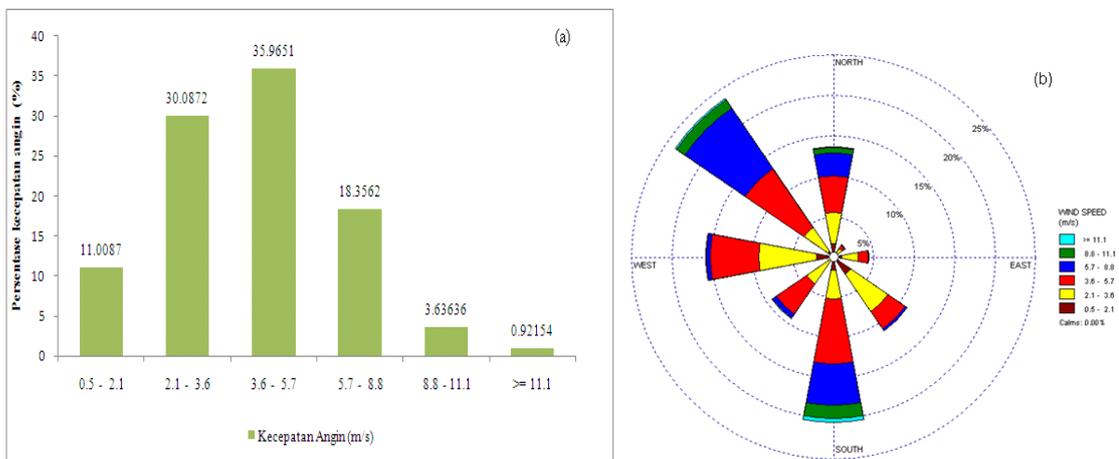
Grafik tinggi dan periode gelombang dari tahun 2001-2011 menggambarkan hubungan antara tinggi gelombang dengan periode gelombang. Tinggi gelombang di lokasi penelitian berkisar antara 0.02-2.07 m, tinggi gelombang maksimal terjadi pada bulan Agustus tahun 2001 sebesar 1.71m dan bulan Agustus tahun 2009 sebesar 2.07m yang bertepatan dengan bertiupnya angin Barat Laut menuju Pulau Ternate.

Hasil analisis data gelombang menunjukkan periode gelombang di lokasi penelitian berkisar antara 0.56-5.87 s, tertinggi pada bulan Agustus 2009 sebesar 5.87 s (Gambar 5). Karena kisaran periode gelombang tersebut terjadi pada tinggi gelombang maksimal. Tinggi gelombang maksimal memiliki nilai periode gelombang yang besar, karena gelombang yang tinggi akan membutuhkan waktu yang lebih lama dalam proses berolak. Tinggi dan periode gelombang sangat ditentukan oleh arah dan kecepatan angin di lokasi penelitian, sehingga tinggi dan periode

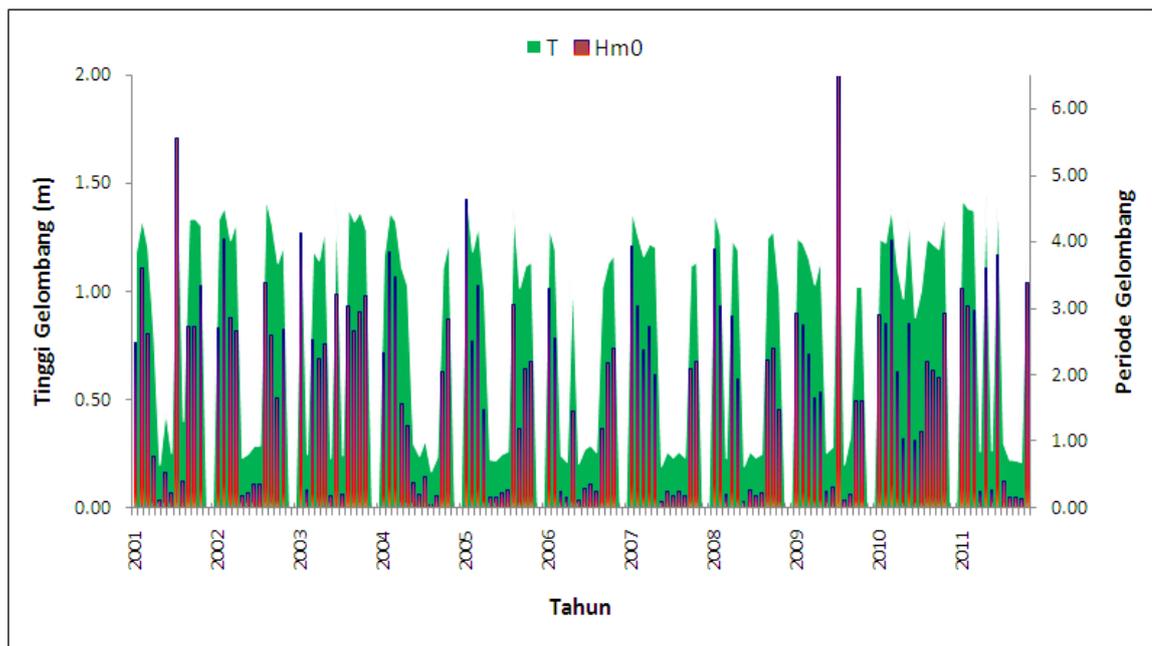
gelombang antara satu daerah dengan daerah lain berbeda.

3.5. Transformasi gelombang

Analisis transformasi gelombang menggunakan model *nearshore spectral wave* MIKE 21 DHI. Berdasarkan bentuk pantai dan arah angin yang dapat membangkitkan gelombang maka transformasi gelombang dideskripsikan dalam tiga fenomena arah datangnya gelombang, yakni transformasi gelombang dari arah selatan (180°), dari arah barat (270°) dan arah barat laut (325°).



Gambar 4. Persentase kecepatan dan arah angin harian (a) grafik, (b) windrose



Gambar 5. Tinggi gelombang maksimal (Hm0) dan Periode Gelombang (T), Tahun 2001-2011 di Pulau Ternate

Klasifikasi ini berdasarkan hasil analisis tinggi dan periode gelombang serta data arah dan kecepatan angin yang menunjukkan adanya signifikansi dari arah Barat Laut, Barat dan Selatan terhadap lokasi penelitian. Fenomena transformasi gelombang pada lokasi penelitian sangat dekat dengan garis pantai.

Gelombang dibangkitkan oleh angin di laut lepas dan bergerak menuju pantai, dalam pergerakannya menuju pantai, gelombang mengalami disipasi atau perubahan dalam hal panjang gelombang, energi gelombang, tinggi dan periode gelombang setelah terjadi gelombang pecah di perairan dangkal. Mekanisme disipasi gelombang dominan di perairan dangkal di luar zona gelombang pecah karena adanya friksi dasar perairan. Di laut dalam, gelombang menjalar tanpa ada gangguan dari tekanan akibat gesekan dasar karena partikel gelombang yang bergerak tidak mencapai dasar perairan. Di laut dangkal, gelombang mengalami transformasi karena disipasi yang disebabkan oleh panjang gelombang lebih besar dari kedalaman dasar perairan (Komen *et al.*, 1994; Holthuijsen, 2007).

Menurut USACE (2003) perubahan arah gelombang terjadi pada saat gelombang sudah dekat dengan pantai. Perubahan arah gelombang disebabkan oleh pengaruh refraksi karena adanya perbedaan kecepatan rambatan gelombang. Perbedaan kecepatan rambatan gelombang terjadi di sepanjang garis muka gelombang yang bergerak membentuk sudut terhadap garis pantai. Gelombang yang berada pada laut yang lebih dalam bergerak lebih cepat daripada gelombang yang berada pada laut yang lebih dangkal.

Transformasi gelombang terjadi di dekat pantai, rata-rata jarak gelombang pecah berkisar antara 10 m sampai 30 m dari garis pantai, hal ini disebabkan oleh topografi dasar perairan di lokasi penelitian yang curam. Tinggi dan arah gelombang yang datang menuju pantai di lokasi penelitian dari arah Barat dan Barat Laut, menunjukkan fenomena yang berbeda. Saat gelombang datang dari arah Barat Laut, transformasi gelombang terjadi di perairan Sasa dan Gambesi. Tinggi gelombang maksimal (H_{mo}) 0.9 – 1.05 m

dari laut menuju pantai, dan ketika akan pecah tinggi gelombangnya mencapai 1.2. Transformasi gelombang pada saat gelombang datang dari arah Barat Laut pada beberapa lokasi terjadi dekat dengan garis pantai. Fenomena ini disebabkan oleh topografi perairan yang curam, tinggi gelombang sebelum pecah di stasiun A setinggi 0.8 m, di stasiun B 0.7 m, stasiun C 0.6 m. Gelombang pecah terjadi dengan tinggi gelombang 0.9 m di perairan dangkal. Energi gelombang tersebut kemudian berkurang karena adanya gesekan dengan dasar perairan. Transformasi gelombang bervariasi antara satu stasiun dengan stasiun lain, dan memiliki tinggi dan arah datangnya gelombang juga bervariasi pada setiap musim. Gelombang yang datang dari arah Barat tegak lurus dengan pantai Rua dan Kastela, memiliki tinggi gelombang maksimum 0.9 m sampai 1 m. Pada musim Timur Laut energi gelombang terpusat di Pantai Rua dan Kastela sehingga garis pantai di kedua stasiun ini rentan mengalami perubahan.

Perubahan arah gelombang menyebabkan terjadinya pengumpulan garis arah gelombang (konvergensi) pada garis pantai yang menjorok ke laut dan terjadi penyebaran (divergensi) pada garis pantai yang menjorok ke dalam. Arah pembelokan gelombang konvergen dan terpusat terjadi pada stasiun A, B dan C pada saat gelombang datang berasal dari arah barat, barat laut dan selatan. Penyebaran garis arah gelombang (divergensi) terjadi pada stasiun D dan E pada saat gelombang datang dari arah selatan. Menurut Thurman dan Trujillo (2004) gelombang yang merambat ke pantai akan mengalami perubahan energi (disipasi energi) akibat gesekan dengan dasar laut dan bentuk batimetri yang menyebabkan penyebaran energi (divergensi) dan pemusatan energi (konvergensi). Pemusatan gelombang akibat adanya kontur batimetri menyebabkan membesarnya tinggi gelombang sedangkan penyebaran gelombang menyebabkan mengecilnya tinggi gelombang.

Gelombang yang membentur pulau, dinding atau struktur bangun pemecah gelombang akan mengalami refleksi gelombang dan dipantulkan

kembali sehingga menimbulkan interferensi antara gelombang yang datang dengan gelombang yang memantul. Gelombang yang dipantulkan ada yang dipantulkan sebagian dan ada yang seluruhnya (Goda, 1975).

Refraksi dan *shoaling* akan dapat menentukan tinggi gelombang di suatu tempat berdasarkan karakteristik gelombang datang. Refraksi mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap tinggi, arah gelombang dan distribusi energi gelombang di sepanjang pantai. Perubahan arah gelombang karena refraksi tersebut menghasilkan konvergensi (pemusatan) atau divergensi (penyebaran) energi gelombang yang terjadi di suatu tempat di daerah pantai.

Elfrink *et al.*, (2003) mengemukakan bahwa transformasi gelombang dalam model MIKE 21 NSW menghasilkan keluaran berupa hasil transformasi gelombang yang stasioner, dipisahkan berdasarkan arah yang terinput didalam model gelombang. Hasil dari model ini mendeskripsikan proses perambatan gelombang, penyebaran arah dan energi gelombang, peluruhan gelombang, interaksi gelombang dengan arus, dinamika angin dan disipasi gelombang pecah. Hasil ini juga menggambarkan simulasi dari kondisi spektrum rata-rata gelombang yang konstan terhadap waktu. Tumpang Susun Hasil Model dengan Hasil Citra Landsat 7 ETM+.

Perubahan garis pantai hasil model setelah ditumpang susun dengan hasil analisis Citra Landsat Tahun 2001-2011, ditemukan adanya pola perubahan garis pantai yang sama. Titik grid yang menunjukkan adanya fenomena

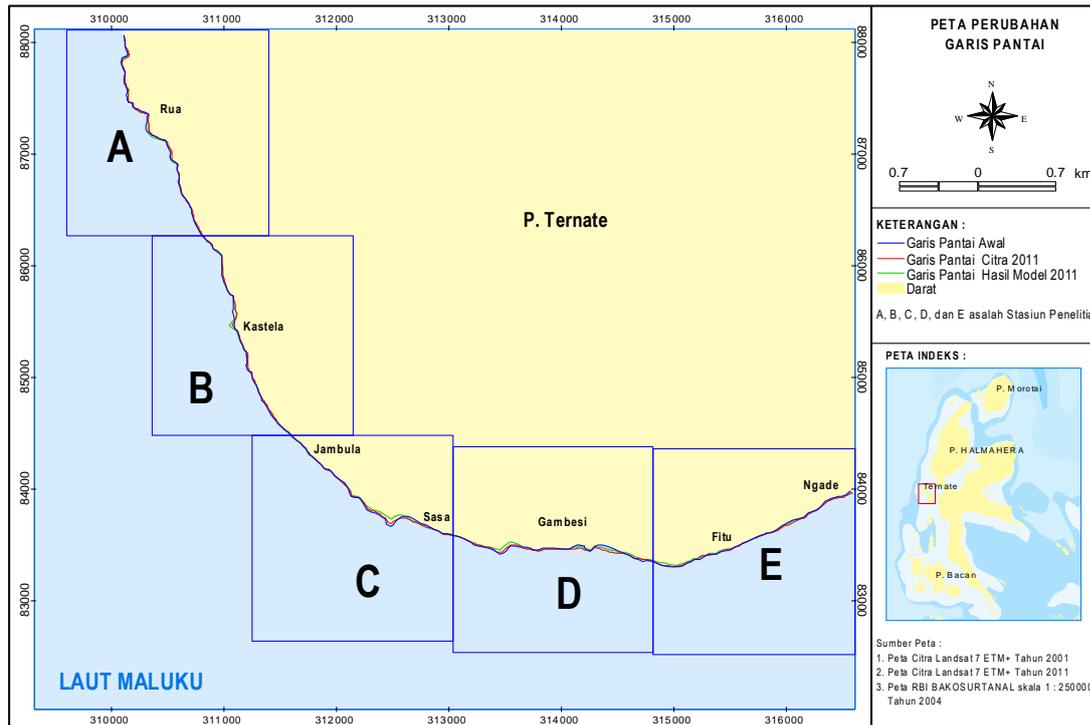
abrasi dan sedimentasi berdasarkan hasil model MIKE LITPACK DHI, pada hasil analisis citra juga menunjukkan fenomena yang sama. Hasil model menggambarkan adanya fenomena abrasi yang tinggi di stasiun C mencapai 83.67m sedangkan sedimentasi tertinggi terjadi di stasiun C sebesar 20.71 m dengan jarak yang tidak jauh dari titik terjadinya abrasi (Tabel 9). Berdasarkan hasil analisis citra, di stasiun yang sama terdapat fenomena abrasi dan sedimentasi yang besar, namun jarak atau besar perubahannya berbeda antara hasil model dengan citra, hal ini disebabkan oleh kemampuan pembacaan Citra Landsat 7 ETM+ yakni 30 m x 30 m. Terdapat perbedaan jarak antara perubahan garis pantai hasil model dengan perubahan garis pantai hasil analisis menggunakan Citra Landsat 7 ETM+.

Nilai maksimal dari fenomena abrasi dan sedimentasi hasil analisis model dan hasil analisis citra dapat dilihat pada Tabel 3. Perbedaan antara hasil model dengan hasil citra pada beberapa titik grid disebabkan oleh perbedaan radius atau resolusi spasial. Berdasarkan data di Tabel 9, sedimentasi tertinggi terjadi pada stasiun D untuk hasil citra dan pada stasiun B untuk hasil model.

Abrasi tertinggi pada stasiun C hasil model dan stasiun C hasil citra. Perbedaan dapat terlihat dengan jelas pada peta perubahan garis pantai dari hasil tumpang susun antara hasil analisis model dengan hasil analisis citra pada Gambar 6.

Tabel 3. Nilai maksimal abrasi dan sedimentasi hasil model, hasil citra

Stasiun	Titik Grid	Abrasi		Titik Grid	Sediemnetasi	
		Model	Citra		Model	Citra
A	11	16.31	25.57	18	17.39	10.71
B	97	41.98	26.82	105	45.69	17.60
C	178	83.67	27.14	186	20.71	27.61
D	217	59.00	9.71	249	18.70	32.80
E	273	21.02	14.03	321	9.39	24.10



Gambar 6. Tumpang susun hasil analisis perubahan garis pantai dari model MIKE LITPACK DHI dengan hasil Analisis Citra Landsat 7 ETM+

Perubahan garis pantai hasil simulasi menggunakan model Litpack MIKE DHI menunjukkan pola perubahan yang sama terhadap garis pantai awal tahun 2001. Fenomena abrasi yang terjadi di stasiun C pada titik grid 178, berdasarkan hasil analisis model dan citra menunjukkan hasil yang sama yakni terjadi proses abrasi, namun terjadi perbedaan jarak atau besarnya abrasi yang terjadi antara model dengan citra. Berdasarkan hasil model ditemukan hasil abrasi sejauh 83.67 m sedangkan berdasarkan hasil citra terjadi abrasi sebesar 25 m perbedaan disebabkan oleh resolusi dari citra yang digunakan Gambar 7.

Berdasarkan Gambar 7, fenomena abrasi terjadi pada stasiun C Sasa, dan sedimentasi maksimal terjadi pada stasiun D Gambesi, artinya bahwa ketika terjadi abrasi distasiun C, sedimen hasil abrasi tersebut terbawa oleh arus menyusur pantai ke stasiun D. Ini terjadi ketika angin bertiup dari arah Barat, Barat Laut dan Selatan. Pada musim Tenggara, angin bertiup dari arah Selatan ke Utara, gelombang yang bergerak menuju pantai Sasa mengalami transformasi akibat friksi dasar,

sehingga terjadi pembelokan arah gelombang menuju stasiun D di Pantai Gambessi dan Sisi yang berdekatan dengan stasiun C juga mengalami sedimentasi. Ketika gelombang datang dari arah Barat dan Barat Laut, terjadi pemusatan (konvergen) di stasiun C sedangkan di stasiun D dan E terjadi divergen, sehingga stasiun C mengalami abrasi dan stasiun D tersedimentasi akibat dari adanya aksi gelombang tersebut.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Terdapat dua jenis kelerengan pantai di lokasi penelitian yakni kelerengan pantai yang landai dan pantai yang curam. Topografi perairan yang landai ditemukan pada stasiun A, B, C dan D dengan substrat dasar pada stasiun A adalah substrat berbatu sedangkan pada stasiun B, C, dan D adalah substrat berpasir. Topografi perairan di stasiun E curam dengan substrat dasar adalah substrat berbatu.

Tinggi gelombang maksimal di lokasi penelitian sebesar 1.72 m dengan

periode tertinggi 5.87 m. Tinggi dan periode gelombang ini ditentukan oleh kecepatan angin dan panjang *fetch*. Transformasi gelombang terjadi saat gelombang datang dari arah Barat, Barat Laut dan Selatan sesuai dengan angin yang bertiup dominan membangkitkan gelombang di lokasi penelitian. Fenomena konvergen dari hasil refraksi gelombang terjadi di stasiun A, B dan C sedangkan fenomena divergen terjadi pada stasiun D dan E.

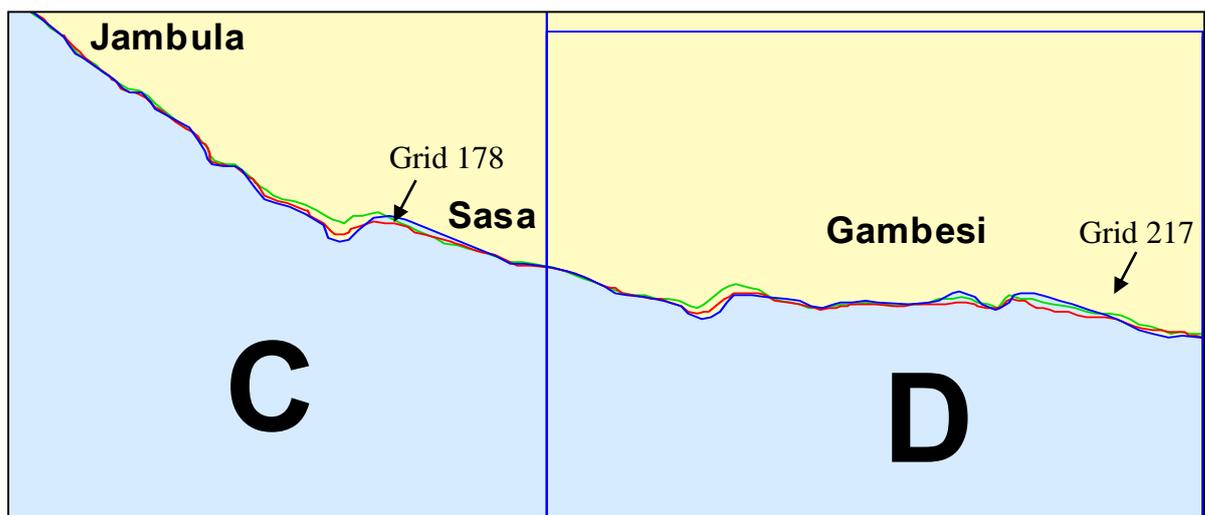
Perubahan garis pantai hasil model dan hasil citra menunjukkan kemiripan pola perubahan garis pantai yang dihasilkan.

Berdasarkan hasil model abrasi tertinggi terjadi di stasiun C (Jambula-Sasa) sebesar 83.67 m dan sedimentasi tertinggi terjadi di stasiun D (Gambesi).

Perubahan garis pantai di lokasi penelitian disebabkan oleh aksi gelombang yang terpusat dan rusaknya hutan bakau sebagai peredam gelombang. Stasiun A dan B terjadi keseimbangan antara abrasi dan sedimentasi. Aktivitas abrasi di lokasi penelitian terjadi pada satu sisi dan sisi yang lainya terjadi sedimentasi.

4.2. Saran

Perlu adanya penelitian tentang perubahan garis pantai yang diklasifikasikan berdasarkan pola musim, untuk melihat tren perubahan antara satu musim dengan musim yang lain. *Time series* analisisnya ditambahkan menjadi 20 tahun, dan perlu ditambahkan analisis fenomena perubahana garis pantai menggunakan citra dengan resolusi tinggi.



Gambar 7. Tumpang susun perubahan garis pantai hasil model dengan hasil citra di stasiun C dan D

DAFTAR PUSTAKA

- Dean RG, Zheng J. 1997. *Numerical model and intercomparisons of beach profil evolution*. *J Coast Eng* 30 : 169-201.
- Doornkamp J D, King MAC. 1971. *Spacial Analysis in Geomorphological*. Harvard and Low Publisher. inc. New York.
- Elfrink B, Baldock T. 2002. *Hydrodynamics and sediment transport in the swash zone :a review and prespective*. *J Coas Eng* 45:149-167
- Elfrink B, Prestedge G, Rocha M B C, Juhl J. 2003. *Shoreline evolution due to highly oblique incident waves at Walvis Bay, Namibia*. DHI Water And Environtment. *J Coast Eng* 46 : 12-13.
- Goda Y. 1975. *Irregular Wave deformation in the surf zone*. *J Coastal Eng* 18:12-26.
- Gordon A L, R A Fine. 1996. *Pathways of water between the Pasific and*

- Indian Oceans in the Indonesian seas. J Nature. 18 : 14-27.*
- Kennedy BA, Chen Q, Kirbi TJ, Dalrymple AR. *Boussinesq modelling of wave transformation and runup. J Wat P Cost and Ocean Eng. 126 : 39-47*
- Komen, GJ, Cavaleri L, Donelan M, Hasselmann K, Hasselmann S, Janssen PAEM. (1994). *Dynamics and Modeling of Ocean Waves*. Cambridge University Press, New York.
- Pierson, W.J., Neumann, G., and James, RW. (1955). *Practical Methods For Observing and Forecasting Ocean Waves by Means of Wave Spectra and Statistics*, Washington, U.S. Navy Hydrographic Office, Publication No.603 (reprinted 1960).
- Sakka, Purba M, Nurjaya WI, Pawitan H, Siregara PV. 2012. *Transformasi gelombang di sepanjang Pantai Delta Sungai Jenebarang, Makassar, Sulawesi Selatan. J Torani 22 : 36-48.*
- Thurman H V, Trujillo A P. 2004. *Introductory Oceanography*. Departemen Of Oceanography Texas A and M university. Spring Edition.
- United State Army Corps of Engineers (USACE). 2003. *Coastal Hydrodinamic Part II, Coastal Sedimen Prosesess Part III*. Washitong DC. Departemen of The Army, U.S. Army Corps of Engineers.
- Wyrтки, K. 1961. *Physical Oceanography of Southeast Asean Waters*. Naga Report,I. 2. The University of California, La Jolla, California.