Analisis Hidro-Oseanografi Perairan Pantura: Studi Kasus Kecamatan Sayung, Demak, Jawa Tengah

Muhammad Ikhsanudin Harahab[1*)], Koko Ondara[2)] dan Ulung Jantama Wisha[2)]

[1)]Program Studi Oseanografi, Jurusan Ilmu Kelautan, Unversitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudarto, SH Tembalang, Telp/Fax. (024)7474698 Semarang 50275
[2)]Peneliti LPSDKP, Balitbang Kementerian Kelautan dan Perikanan
JL. Raya Padang-Painan KM. 16, Teluk Bungus Padang - Sumatera Barat, 25245 Indonesia
Telp/Fax: (0751)751458
[*)]Coresponding author: muhammadikhsanudinharahab@gmail.com

Abstrak: Erosi pantai atau abrasi merupakan proses mudurnya garis pantai akibat serangan gelombang. Kabupaten Demak sendiri merupakan salah satu kabupaten di Jawa Tengah yang mengalami permasalahan erosi pantai atau abrasi parah dalam kurun waktu 11 tahun terakhir. Sehubungan dengan masalah tersebut maka perlu dilakukan studi untuk mengidentifikasi karakteristik gelombang perairan pada daerah tersebut. Analisa yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan pendekatan teori, permodelan oseanografi dan analisis transformasi gelombang yang terjadi di kawasan pantai Kecamatan Sayung, Demak. Peramalan gelombang menggunakan metode *hindcasting* gelombang berdasarkan data angin selama 12 tahun (2004-2016). Pemodelan oseanografi pada penelitian ini menggunakan perangkat lunak *Mike21 Hidrodinamic* dan *Modul Spectral Wave.* Dari hasil perhitungan untuk tahun 2004 didapatkan hasil Hs 0,255 m dan Ts 2,19, H'0 0,03. Nilai Koefisien Refraksi terjadi berkisar antara 0,1084 sampai 0,6789, Sedangkan Koefisien shoaling berkisar antara 0,99 sampai 1,34 m. Sedangkan untuk tahun 2016 didapatkan hasil Hs 0,325 dan Ts 2,462 nilai H'0 0,4137. Nilai Koefisien Refraksi berkisar antara 0,0957 sampai 1,08. Nilai Koefisien Shoaling 0,043 sampai 0,06019. Nilai Energi gelombang tahun 2016 sebesar 615.25625. Berdasarkan analisa tersebut gelombang yang terjadi di perairan sayung diprediksi dapat merusak pantai tersebut dan dapat mengakibatkan erosi yang disebabkan pelepasan energi gelombang.

Kata kunci: *transformasi gelombang, abrasi, gelombang, sayung, mike 21.*

Abstract: *Coastal erosion or abrasion is a process of retreat of the coastline due to wave attack. Demak regency itself is one of regencies in Central Java who experienced problems severe coastal erosion or abrasion within the last 11 years. In connection with these issues should be conducted studies to identify the characteristics of a wave of water on the area. The analysis performed in this study using a theoretical approach, oceanographic modeling and analysis of the transformation of waves that occur in coastal areas Sayung Sub district, Demak. Wave forecasting method based hindcasting wave wind data for 12 years (2004-2016). Oceanographic modeling in this study using the software Mike21 Hydrodynamic and Spectral Wave Module. From the calculation results for 2004 showed 0.255 m Hs and Ts of 2.19, 0.03 H'0. Refraction occurs coefficient ranged from 0.1084 to 0.6789, while shoaling coefficient ranged from 0.99 to 1.34 m. As for 2016 showed Hs and Ts 2.462 0.325 0.4137 H'0 value. Refraction coefficient ranged from 0.0957 to 1.08. Shoaling coefficient value of 0.043 to 0.06019. Wave energy value in 2016 amounted to 615.25625. Based on the analysis of waves that occur in a predictable Sayung waters can damage the coast and could lead to erosion due to the release of wave energy.*

Key words: *abrasion, mike 21, Sayung, wave, wave tranformation*

PENDAHULUAN

Kecamatan Sayung merupakan salah satu kecamatan yang berada di pesisir Pantai utara Jawa dan termasuk di dalam wilayah administrasi Kabupaten Demak, wilayah ini berhubungan langsung dengan Laut Jawa (Subardjo, 2004). Kabupaten Demak sendiri merupakan salah satu kabupaten di Jawa Tengah yang mengalami permasalahan erosi pantai atau abrasi yang parah dalam kurun waktu 11 tahun terakhir, tercatat pada tahun 2002 ada 145,50 hektar pantai di Demak terkikis abrasi, kerusakan pantai itu meningkat lima kali lipat pada 2005, yakni mencapai 758,30 hektar (Qarnain, 2014).

Terjadinya abrasi di pesisir Kabupaten Demak disebabkan oleh kegiatan pembangunan di wilayah lain yang berakibat pada berubahnya pola hidrodinamika perairan demak yang disebabkan oleh pengaruh gelombang dan arus laut sehingga terjadi ketidakseimbangan pergerakan sedimen dari dan menuju pantai (Ismail, 2012). Hadi *et al*. (2005) menyatakan bahwa dalam pemanfaatan pesisir laut maka informasi akurat mengenai karakteristik gelombang dan spektrum gelombang sangat dibutuhkan. Informasi tersebut dapat diperoleh dengan pengukuran langsung ke lapangan tetapi karena keterbatasan biaya yang cukup besar jika dilakukan dalam jangka waktu yang cukup panjang dan memerlukan penguasaan teknologi instrumen gelombang yang tidak mudah.

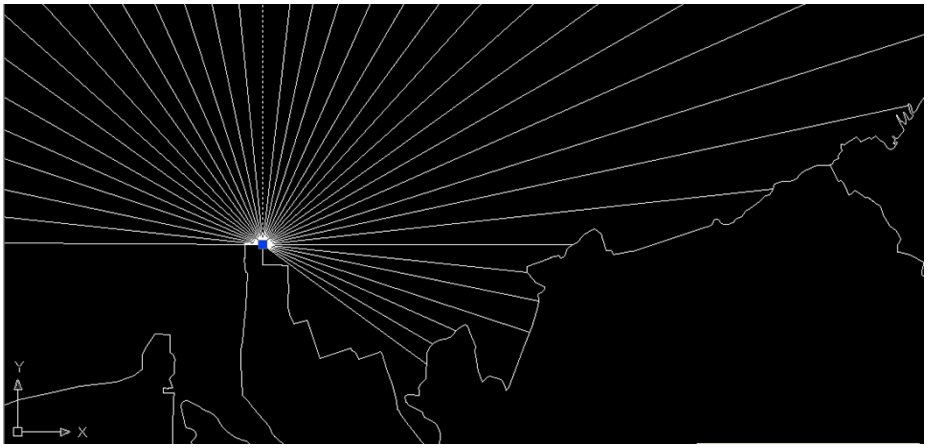
Pemahaman mengenai kondisi perairan sangat penting dilakukan sebagai analisis untuk mengurangi dampak-dampak negtif yang terjadi dalam merencanakan pengembangan wilayah pesisir dan laut. Arus merupakan salah satu komponen oseanografi, pengukuran arus merupakan langkah awal dalam monitoring kondisi perairan, pola pergerakan arus dalam lingkup yang luas adalah dengan makukan pengambilan data lapangan dan dengan menggunakan pendekatan matematik. Permodelan keadaan alam, merupakan alternatif lain yang lebih murah dan mudah dalam memperoleh gambaran sebaran yang terjadi dimasa sekarang maupun prediksinya dimasa yang akan datang (Nugroho dan Anugroho, 2007). Melihat permasalahan tersebut maka penelitian tentang analisis spektrum dan transformasi gelombang di Perairan Sayung, Demak sangat diperlukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakterisitik gelombang, pola transformasi gelombang, dan spektrum gelombang berarah di Perairan Sayung, Demak, Jawa Tengah.

METODE PENELITIAN

Pendekatan masalah yang digunakan ialah dengan melakukan pemodelan gelombang secara matematis (Wahyudi *et al.,* 2005) di Perairan Sayung. Pemodelan gelombang berfungsi untuk menganalisa gelombang lebih ringkas dan lebih mudah dipahami (Hidayat, 2005). Fungsi pemodelan pada penelitian ini juga berfungsi untuk mensimulasikan pola arus, spektrum gelombang dan penjalaran gelombang yang ketiganya saling berkaitan. Pada penelitian ini pemodelan gelombang menggunakan *software* MIKE 21 dengan modul *Spectral Wave.* Dari hasil analisa akan didapatkan nilai spektrum gelombang dan arah penjalaran gelombang, tinggi gelombang signifikan, dan periode gelombang signifikan.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi, wawasan, dan pemahaman mengenai karakteristik gelombang, pola transformasi gelombang, dan spektrum gelombang berarah di Perairan Sayung yang dapat digunakan sebagai data pendukung dalam perencanaan bangunan pantai. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa kecepatan angin tiap jam diperoleh dari stasiun pengamatan BMKG Semarang untuk bulan maret 2004 dan maret 2016, data kedalaman diperoleh dari pengukuran langsung di lokasi penelitian pada bulan Maret 2016 serta peta batimetri Dishidros tahun 2013 dan 2004.

Fetch efektif digunakan dalam peramalam gelombang untuk mengetahui tinggi, periode dan durasi gelombang. *Fetch* rerata efektif diberikan persamaan sebagai berikut: $F_{eff} = \sum Xi \cos\alpha \sum \cos\alpha$ Perhitungan panjang *fetch* (Xi) dari berbagai arah yang memungkinkan (Triatmodjo, 1999) ditunjukkan pada gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. *Fetch* efektif perairan Kec. Sayung Kabupaten Demak

langkah-langkah perhitungan fetch dimulai dengan menentukan garis arah angin utama sebagai central radial dengan menggunakan peta. Kemudian dalam perhitungan dibuat sudut dari central radial kerah kanan dan kiri garis fetch dengan interval 6 derajat. Lalu mengukur fetch sampai menyentuh daratan atau batas akhir peta kemudian kalikan dengan skala peta.

Untuk memudahkan dalam pembacaan karakteristik angin sebagai pembangkit gelombang, maka data angin selama 12 tahun (2004-2016) untuk delapan penjuru mata angin dalam periode Januari hingga Desember. Data angin yang akan digunakan untuk peramalan tinggi dan perioda gelombang harus dikoreksi terhadap elevasi, stabilitas, efek lokasi dan koefisien seret untuk mendapatkan *wind stress factor* atau faktor tenaga angin(UA). Data angin yang digunakan adalah data angin maksimum bulanan yang akan menyebabkan tinggi gelombang maksimum.
Untuk menghitung *wind stress factor* (UA) digunakan persamaan :

$$UA = 0{,}71 x UW^{1{,}23}$$

dimana UW adalah kecepatan angin di laut yang didapatkan dari persamaan :

$$UW = RL x UL$$

Dengan UL adalah kecepatan angin hasil pengukuran dan RL adalah hubungan antara angin diatas laut dan angin di daratan terdekat.

Untuk menentukan tinggi dan periode gelombang maksimum yang terjadi berdasarkan perubahan kedalaman dari 0,1 m sampai dengan 10 meter, maka dibuat hubungan antara tinggi gelombang maksimum dan periode gelombang maksimum (12 tahun data masukan) yang telah dihitung dengan metode *hindcasting* untuk mendapatkan persamaan dari grafik hubungan. Kemudian persamaan yang didapatkan dari grafik hubungan tersebut digunakan untung menghitung periode gelombang pada laut dalam. Untuk menghitung panjang gelombang laut dalam digunakan persamaan :

$$L0 = 1{,}56\ T^2$$

Untuk menentukan nilai Koefisien Refraksi (Kr) didapatkan dengan menggunakan persamaan

$$Kr = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}}$$

Koefisien shoaling atau koefisien pendangkalan dihitung dengan menggunakan persamaan

$$K_s = \sqrt{\frac{n_0 L_0}{nL}}$$

setelah perhitungan koefisien refraksi dan shoaling, akan didapatkan nilai tinggi gelombang yang baru dengan menggunakan persamaan

$$H = H0.Kr.Ks$$

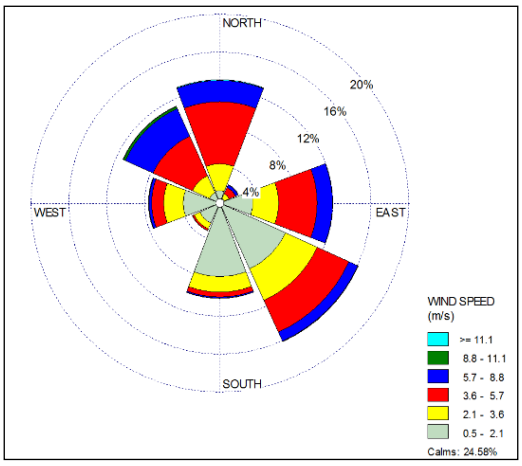
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari proses hindcasting gelombang dari data angin mengahsilkan nilai tinggi gelombang signifikan dan juga periode gelombang signifikan dari tiap tahun yang dibandingkan. Perhitungan Tinggi gelombang signifikan dan Periode gelombang signifikan yang terjadi di Perairan Kec Sayung pada tahun 2004 dan 2016 (Tabel 1) terlihat bahwa tinggi gelombang signifikan meningkat sekitar 0,7 m yang diikuti oleh peningkatan periode signifikan perambatan gelombag laut sekitar 0,3 sekon. Pada tahun 2016 tinggi dan periode gelombang signifikan meningkat tidak terlalu drastis, karena tipe parairannya tidk berubah, namun hanya dipengaruhi oleh perubahan topografi dan batimetri perairan sayung, serta adanya isu pemanasan global yang memicu peningkatan level muka air laut (Sea Level rise). Karena pembangkitan gelombang hampir bersamaan dengan pasang surut, sehingga 2 parameter tersebut saling berpengaruh satu sama lain, menurut Triadmodjo (1999) bahwa dalam proses pembentukan gelombang terjadi dalam waktu yang bersamaan, sehingga peningkatan elevasi muka air juga akandiikuti oleh meningkatnya tinggi gelombang di perairan Sayung.

Tabel 1. Nilai Hs dan Ts perairan Kec. Sayung tahun 2004 dan 2016

Tahun	2004	2016
Hs	0.25597922	0.325842082
Ts	2.19686693	2.46230299

Untuk memudahkan dalam pemetaan karakteristik angin, maka dibuat skala dalam bentuk windrose. Arah dan kecepatan angin yang terjadi selama 12 tahun tahun terkahir yang terjadi di Perairan Kec. Sayung dapat dilihat pada gambar 2 :



Gambar 2. *Windrose* perairan Kec. Sayung tahun 2004-2016

Data angin yang akan digunakan untuk peramalan tinggi dan perioda gelombang harus dikoreksi terhadap elevasi, stabilitas, efek lokasi dan koefisien seret untuk mendapatkan *wind stress factor* atau faktor tenaga angin(UA). Data angin yang digunakan adalah data angin maksimum bulanan yang akan menyebabkan tinggi gelombang maksimum. Dominasi arah angin bergerak menuju tenggara dan utara dengan kecepatan angin maksimal adalag 8,8 m/s. Dalam arah yang lain kecepatan mencapai nilai maksimal namun tidak dominan selama waktu perekaman data.

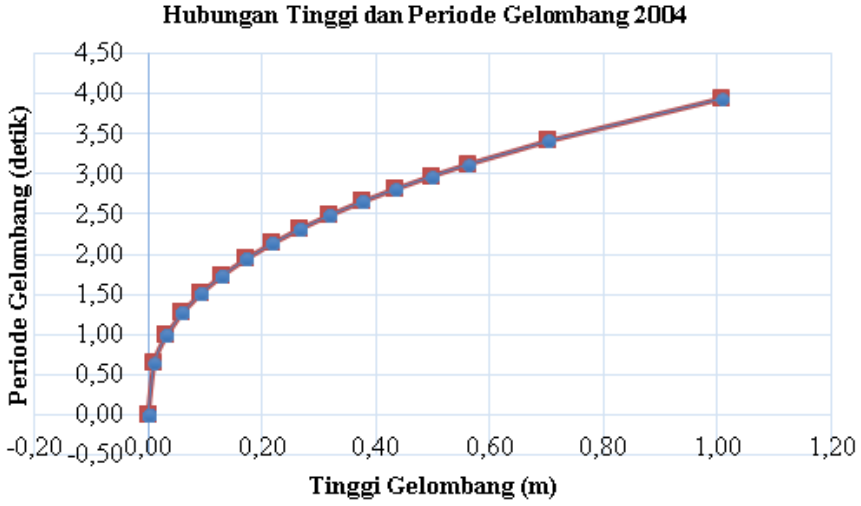
Berdasarkan hasil diatas daya gelombang untuk kedalaman 6m, 4m, 2m, dan 0,1 m untuk tahun 2016 lebih besar dibandingkan dengan 2004, daya gelombang yang merambat ke pantai dapat menyebabkan perubahan garis pantai. Berdasarkan teori kessetimbangan pantai, disuatu wilayah perairan akan terjadi penumpukan dan ditempat sekitarnya terjadi pengikisan, gelombang merupakan faktor utama yang menyebabkan terjadinya abrasi dan perubahan garis pantai, wajar bila terjadi perubahan garis pantai di wilayah Kecamatan Sayung, karena daya pembangkit gelombang semakin meningkat bila dibandingkan dari tahun 2004 dan 2016 (Tabel 2) dan (Tabel 3).

Tabel 2. Perhitungan Karakteristik Gelombang 2004

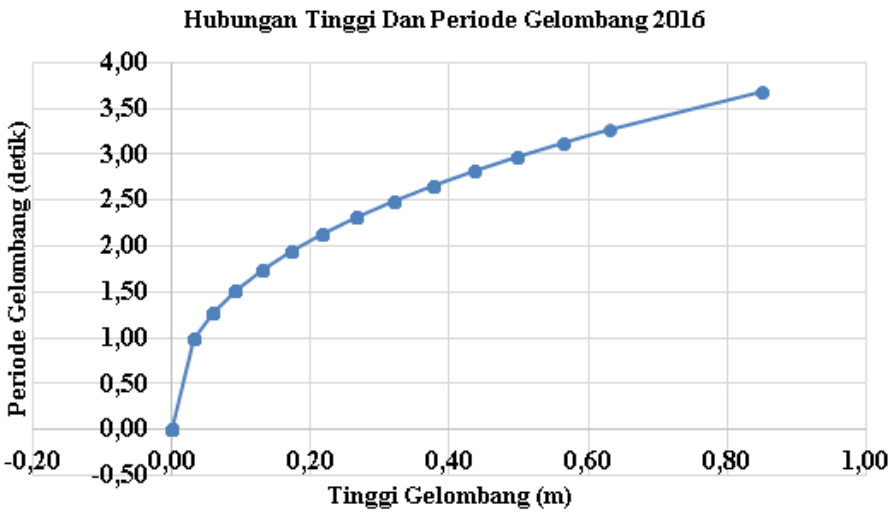
Lo	7.52891					
d/Lo	1.32821352	1.062571	0.796928	0.531285	0.265643	0.013282
d/L	0	0	0.796991	0.532603	0.281549	0.046625
L	-	-	7.528314	7.510291	7.103555	2.144771
k	-	-	0.834184	0.836186	0.884064	2.928051
Co	3.42711242					
Kd	-	-	5.005105	3.344744	1.768129	0.292805
C	-	-	3.426841	3.418637	3.233494	0.976286
Cg	-	-	1.714962	1.737766	1.950025	0.949463
E	615.25625					
P	-	-	1055.141	1069.171	1199.765	584.1631

Tabel 3. Perhitungan Karakteristik Gelombang 2016

Lo	9.45818					
d/Lo	1.057285842	0.845829	0.634372	0.422914	0.211457	0.010573
d/L	-	0.845869	0.634804	0.427848	0.234499	0.040435
L	-	9.457733	9.451736	9.34912	8.528836	2.473096
K	-	0.664007	0.664428	0.671721	0.736326	2.539327
Co	3.841192664					
Kd	-	5.312055	3.986569	2.686884	1.472651	0.253933
C	-	3.841011	3.838576	3.796901	3.463764	1.004383
Cg	-	1.921498	1.929834	1.993057	2.269845	0.983428
E	615.25625					
P	-	1182.214	1187.343	1226.24	1396.536	605.06



Gambar 3. Grafik Hubungan Tinggi dan Periode Gelombang 2004



Gambar 4. Grafik Hubungan Tinggi dan Periode Gelombang 2016

Hubungan tinggi dan periode gelombang bulan maret tahun 2004 dan bulan maret 2016 menunjukan bahwa gelombang signifikan 2004 lebih tinggi dibanding maret 2016, semakin tinggi gelombang maka periode juga akan semakin cepat, pada tahun 2004 (gambar 3) terkihat bahwa tinggi gelombang berkisar antara 0-1,10 cm sedangkan pada tahun 2016 tinggi gelombang berkisar antara 0-0,85 cm. Untuk periode gelombang taun 2004 berkisar antara 0-4 sekon dan pada tahun 2016 periode gelombang berkisar antara 0-3,75 sekon. Penjalaran gelombang dari Laut Jawa menuju pantai yakni refraksi, pendangkalan gelombang, difraksi, penyebaran gelombang dan pemusatan gelombang tahun 2004 dan 2016 kemudian menghasilkan informasi berikut:

Tabel 4. Perhitungan perhitungan koefisien refraksi tahun 2016

Arah Utara						
sin α	-	0	0	0	0	0
A	-	0	0	0	0	0
Kr	-	0.132111	0.132111	0.132111	0.132111	0.132111
Arah Timur Laut						
sin α	-	0.707073	0.706625	0.698953	0.637628	0.184892
A	-	44.99729	44.96098	44.34309	39.61515	10.65484
Kr	-	0.131822	0.12817	0.098992	-	-
Arah Timur						
sin α	-	0.999953	0.999319	0.988469	0.901742	0.261477
A	-	89.44279	87.88484	81.29065	64.38796	15.15772
Kr	-	-	-	-	-	0.095784
Arah Tenggara						
sin α	-	0.707073	0.706625	0.698953	0.637628	0.184892
A	-	44.99729	44.96098	44.34309	39.61515	10.65484
Kr	-	-	-	-	0.226651	0.228087
Arah Selatan						
sin α	-	1.23E-16	1.22E-16	1.21E-16	1.1E-16	3.2E-17
A	-	7.02E-15	7.01E-15	6.94E-15	6.33E-15	1.84E-15
Kr	-	-	-	-	-	-
Arah Barat Daya						
sin α	-	-0.67556	-0.67513	-0.6678	-0.60921	-0.17665
A	-	-42.4975	-42.4642	-41.8975	-37.5323	-10.1748
Kr	-	-	-	0.173799	-	0.142467
Arah Barat						

sin α	-	-0.99995	-0.99932	-0.98847	-0.90174	-0.26148
A	-	-89.4428	-87.8848	-81.2907	-64.388	-15.1577
Kr	-	0.431049	0.131284	0.136313	1.08163	-
Arah Barat Laut						
sin α	-	-0.70707	-0.70663	-0.69895	-0.63763	-0.18489
A	-	-44.9973	-44.961	-44.3431	-39.6151	-10.6548
Kr	-	0.148529	0.144414	0.111538	-	-

Berdasarkan table hasil perhitungan koefisien refraksi 2016 untuk segala arah hasil yang paling besar dari arah barat pada kedalaman 8 m dan terkecil dari selatan.

Tabel 5. Perhitungan perhitungan koefisien shoaling tahun 2016

Koefisien Shoaling						
n0	0.5					
N	-	0.500358	0.502769	0.525117	0.654797	0.978054
Ks	-	0.999666	0.997582	0.981466	0.920218	1.398256
H	-	0.043033	0.042943	0.042249	0.039613	0.060191

Tranfromasi gelombang yang terjadi setelah gelombang pecah menyebabkan terjadinya peningkatan tinggi dan periode gelombang akibat perubahan kedalaman dan Koefisien shoaling semakin berkurang terhadapkedalaman maka akan menghasilkan nilai koefisien shoaling.

Tabel 6. Perhitungan perhitungan koefisien refraksi tahun 2016

Arah Utara						
sin α	-	-	0	0	0	0
A	-	-	0	0	0	0
Kr	-	-	0.13211091	0.1321109	0.1321109	0.1321109
Arah Timur Laut						
sin α	-	-	0.707051	0.705358	0.667158	0.201434
A	-	-	44.99547	44.85848	41.84809	11.62086
Kr	-	-	0.131629	0.119683	-	0.125156
Arah Timur						
sin α	-	-	0.999921	0.997527	0.943504	0.284871
A	-	-	89.27917	85.96965	70.64856	16.55116
Kr	-	-	-	0.13785	-	0.108437
Arah Tenggara						
sin α	-	-	0.707051	0.705358	0.667158	0.201434
A	-	-	44.99547	44.85848	41.84809	11.62086
Kr	-	-	-	-	0.180421	-
Arah Selatan						
sin α	-	-	1.225E-16	1.22E-16	1.16E-16	3.49E-17
A	-	-	7.019E-15	7E-15	6.62E-15	2E-15
Kr	-	-	-	-	-	-
Arah Barat Daya						
sin α	-	-	-0.67554	-0.67392	-0.63742	-0.19246
A	-	-	-42.4958	-42.3703	-39.5998	-11.0962
Kr	-	-	-	0.600433	0.2141	-
Arah Barat						
sin α	-	-	-0.99992	-0.99753	-0.9435	-0.28487
A	-	-	-89.2792	-85.9697	-70.6486	-16.5512
Kr	-	-	0.260373	-	0.678983	-
Arah Barat Laut						

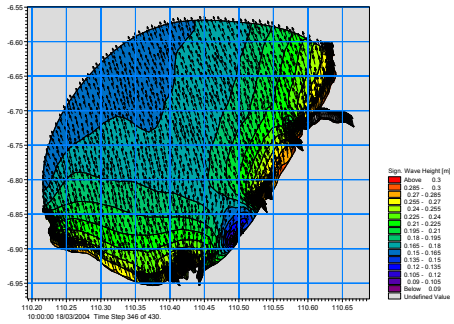
sin α	-	-	-0.70705	-0.70536	-0.66716	-0.20143
A	-	-	-44.9955	-44.8585	-41.8481	-11.6209
Kr	-	-	0.148311	0.134851	-	0.141018

Berdasarkan table hasil perhitungan koefisien refraksi 2004 untuk segala arah hasil yang paling besar dari arah barat daya untuk kedalaman 2 m dan terkecil dari selatan.

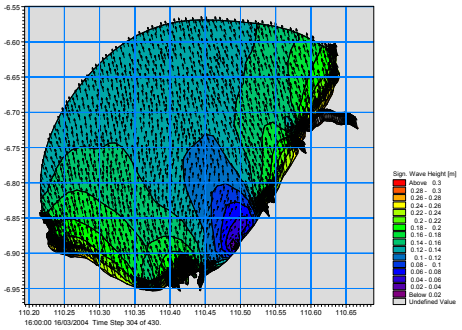
Tabel 7. Perhitungan perhitungan koefisien shoaling tahun 2004

Koefisien Shoaling						
n0	0.5					
N	-	-	0.50043072	0.5082715	0.6029216	0.9725075
Ks	-	-	0.99960911	0.9930585	0.9375248	1.3434271
H	-	-	0.03380443	0.0335829	0.0317049	0.0454315

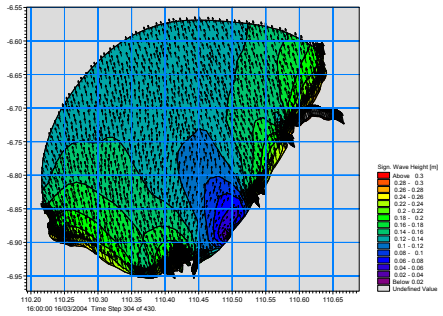
Koefisien shoaling semakin berkurang kedalaman maka akan menghasilkan nilai koefisien shoaling.



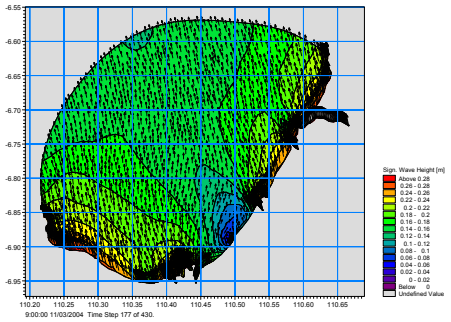
Gambar 5. Kondisi saat pasang purnama



Gambar 6. Kondisi saat pasang perbani

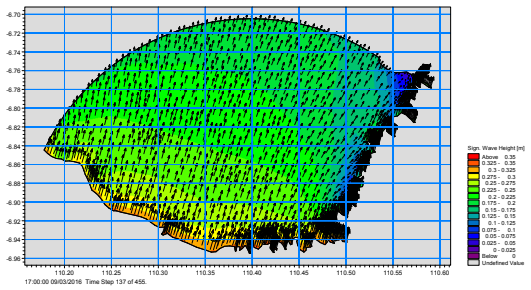


Gambar 7. Kondisi saat surut purnama

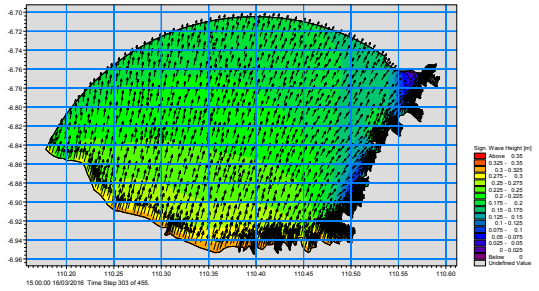


Gambar 8. Kondisi saat surut perbani

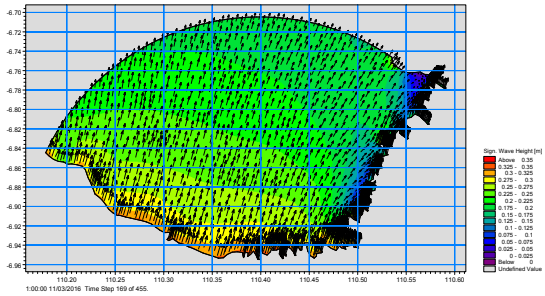
Berdasarkan hasil model Hs 2004 didapatkan hasil pada Hs pada pasang purnama bernilai 0,09 - 0,3 m, pada surut purnama bernilai 0,02 - 0,3 m pada surut perbani bernilai 0,02 - 0,28 m dan pada pasang perbani bernilai 0,02 - 0,3 m. Untuk daerah sayung pada saat pasang purnama berkisar 0,20 m, pada surut purnama bernilai 0,09 m, pada pasang perbani bernilai 0,12 pada surut perbani bernilai 0,12 m.



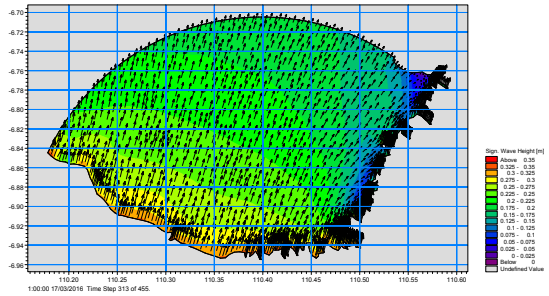
Gambar 9. Kondisi Saat pasang purnama



Gambar 10. Kondisi saat pasang perbani



Gambar 11. Kondisi saat surut purnama



Gambar 12. Kondisi saat surut perbani

Berdasarkan hasil model hs 2004 didapatkan hasil pada hs pada Pasang Purnama bernilai 0,025 - 0,35 m pada surut purnama bernilai 0,025 - 0,35 m pada surut perbani bernilai 0,025 - 0,35 m dan pada pasang perbani bernilai 0,025 - 0,35 m. Untuk daerah sayung pada saat pasang purnama berkisar 0,18 m, pada surut purnama bernilai 0,06- 0,14 m pada pasang perbani bernilai 0,05 - 0,1 m pada surut perbani bernilai 0,05 – 0,1 m. Berdasarkan hasil permodelan juga terlihat bahwa ada peningkatan tinggi gelombang termasuk kondisi pasut purnama dan perbani, tinggi gelombang meningkat bila dibandingkan antara tahun 2004 dan 2016, hal ini menunjukkan bahwa abrasi yang terjadi di wilayah tersebut dominan dipengaruhi oleh kikisan gelombang yang secara terus-menerus dapat menyebabkan pesisir menjadi rentan.

KESIMPULAN

Daya gelombang untuk kedalaman 6m, 4m, 2m, dan 0,1 m untuk tahun 2016 lebih besar dibandingkan dengan 2004, daya gelombang yang merambat ke pantai dapat menyebabkan perubahan garis pantai karena gelombang merambat kepantai membawa material sedimen yang dipengaruhi oleh arus pantai. Hubungan tinggi dan periode gelombang bulan maret tahun 2004 dan bulan maret 2016 menunjukan bahwa gelombang signifikan 2004 lebih tinggi dibanding maret 2016 hal ini menunjukan pada tahun 2004 angin berhembus lebih besar dibandingkan 2016. Berdasarkan table hasil perhitungan koefisien refraksi 2016 untuk segala arah hasil yang paling besar dari arah barat pada kedalaman 8 m dan terkecil dari selatan. Berdasarkan table hasil perhitungan koefisien refraksi 2004 untuk segala arah hasil yang paling bear dari arah barat daya untuk kedalaman 2 m dan terkecil dari selatan.

DAFTAR PUSTAKA

Bearman, G. 1989. *Waves, Tides dan Shaloow Water Processes*. The Open University, England. 187p.

Carter, D. J. T. 1982. *Estimation of Wave Spectra from Wave Height and Period*. Institute of Oceanographic sciences.

Coastal Hydrolic Laboratory (CHL). 2002. *Coastal Engineering Manuals*. US Army Coastal Engineering Research Center, Washington.

Danial, M.M. 2008. Rekayasa Pantai. Alfabeta, Bandung, 320 hlm.

Diposaptono, S., Budiman dan A. Firdaus. 2009. Menyiasati Perubahan Iklim di Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. Buku Ilmiah Populer, Bogor, hlm. 50-133.

Habibie, M. N., A. Sasmito., dan R. Kurniawan. Kajian Potensi Energi Angin di Wilayah Sulawesi dan Maluku. Jurnal Meteorologi dan Geofisika., 12(2): 181-187.

Hidayat, N. 2005. Kajian Hidro-Oseanografi Untuk Deteksi Proses-Proses Fisik Di Pantai. Jurnal SMARTek., 3(2): 73-85.

Husain, S., Juswan dan Hamzah. 2011. Analisa Perbandiingan Umur Struktur Offshore Sistem EBF dan Sistem CBF Tipe Jacket. Dalam : Prosiding Hasil Penelitian Fakultas Teknik. Makassar.

Hutabarat, S. dan S.M. Evans. 1985. Angin sebagai Pembangkit Gelombang. Gelombang. Pengantar Oseanografi. Universitas Indonesia, Jakarta, hlm.78-80.

Kramadibrata, S. 2002. Perencanaan Pelabuhan. ITB. Bandung.

Lakitan, B. 2002. Dasar-Dasar Klimatologi. P.T. Raja Grafindo Persada, Jakarta, hlm. 141-156.

Rafandi, M.T. 2013. Analisis Refraksi dan Efek Pendangkalan (*Shoaling*) Gelombang Terhadap Penambahan Panjang Pemecah Gelombang pada Mulut Pelabuhan Tanjung Adikarta Glagah Yogyakarta. [Skripsi]. Program Studi Oseanografi, Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro, Semarang, hlm. 49 (tidak dipublikasikan).

Sugianto, D.N. 2010. Model Distribusi Data Kecepatan Angin dan Pemanfaatannya dalam Peramalan Gelombang di Perairan Laut Pacitan Jawa Timur. Jurnal Ilmu Kelautan, Vol. 15 (3): 143-152.

Sutirto dan D. Trisnoyuwono. 2014. Gelombang dan Arus Laut Lepas. Graha Ilmu. Yogyakarta.

Triatmodjo, B. 1999. Teknik Pantai. Yogyakarta: Beta Offset.

Wahyudi., Sholihin dan F. Setiawan. 2005. Pengaruh Spektrum Gelombang Terhadap Stabilitas Batu Pecah Pada Permukaan *Cellular Cofferdam* Akibat Gelombang *Overtopping.* Jurnal Teknologi Kelautan., 9(1): 9-17.

Yuwono, N. dan R.J. Kodoatie. 2004. Kumpulan Buku Pedoman Pengembangan Reklamasi Pantai dan Perencanaan Bangunan Pengamannya. Direktorat Bina Teknik, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah (Departemen Pekerjaan Umum), 347 hlm.