

SIMULASI RIP CURRENT MENGGUNAKAN MODEL SPECTRAL WAVE STUDI KASUS PANTAI TIMUR PANGANDARAN

MOHAMAD ALDRI PRATAMA¹, YESSI NIRWANA KURNIADI²

¹Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia

²Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia

Email : aldripratamaaaa@gmail.com

ABSTRAK

Rip current merupakan arus balik dari pantai menuju ke laut. Rip current terbagi menjadi beberapa bagian, yaitu arus pengisi, leher arus dan kepala arus. Rip current umumnya memiliki kecepatan 1-2 m/s yang dipengaruhi oleh adanya perbedaan kedalaman dan tinggi gelombang. Dalam menentukan langkah mitigasi yang tepat, dibutuhkan dilakukannya identifikasi terlebih dahulu, salah satunya dengan cara melakukan pemodelan spectral wave. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pembentukan rip current yang terbentuk di Pantai Timur Pangandaran berdasarkan pemodelan. Dengan bantuan perangkat lunak MIKE21, penelitian ini mensimulasikan kondisi hidrodinamika. Simulasi yang dilakukan selama 15 hari. Hasil dari simulasi tersebut dilakukan validasi dengan membandingkan antara pasang surut pengukuran dan pasang surut peramalan. Hasil dari validasi dimasukkan ke dalam MIKE21 Spectral Wave. Hasil analisis dari pemodelan spectral wave yang dilakukan menunjukkan terdapat perbedaan tinggi gelombang yang terjadi di Pantai Timur Pangandaran.

Kata kunci: Rip Current, Pemodelan, Hidrodinamika, MIKE21 Spectral Wave

ABSTRACT

Rip current is a return flow from the coast to the sea. Rip currents, which generally have speeds of 1-2 m/s, are affected by differences in wave depth and height. In carrying out appropriate mitigation, identification is needed first. Identification is done by doing spectral wave modeling. This study aims to determine the formation of rip currents that form on the east coast of Pangandaran based on modeling. This research was carried out by simulating hydrodynamic conditions with the help of MIKE21 software. The simulation was carried out for 15 days. The results of this simulation are validated by comparing the measured tides compared to forecasted tides. The results of the validation are entered into MIKE21 Spectral Wave. The results of the analysis of the spectral wave modeling show the difference in wave height that occurs on the east coast of Pangandaran.

Keywords: Rip Current, Modeling, Hydrodynamic, MIKE21 Spectral Wave

1. PENDAHULUAN

Menurut (Ghorbani & Rasulyjamnany, 2012) *rip current* merupakan arus balik dari pantai menuju ke laut. *Rip current* dibagi menjadi beberapa bagian arus, yaitu arus pengisi, leher arus dan kepala arus, umumnya memiliki kecepatan 1-2 m/s yang dipengaruhi oleh adanya perbedaan kedalaman dan tinggi gelombang. *Rip current* sulit untuk diprediksi sehingga diperlukan penelitian untuk memprediksi kemunculannya. Identifikasi *rip current* dapat dilakukan dengan beberapa cara seperti observasi langsung, *google earth*, pengukuran langsung menggunakan kamera/*drone* dan pemodelan. Penelitian ini akan mengaplikasikan pemodelan dengan *software* pemodelan hidrodinamika 2DH sebagai mitigasi bencana *rip current*. Oleh karena itu, perlu diketahui pengaruh gelombang pada pembentukan *rip current* di Pantai Timur Pangandaran, sehingga pemodelan yang dihasilkan dapat digunakan sebagai pemantauan potensi kemunculan *rip current* (Deskaranti et al., 2017). Berkaitan dengan permasalahan yang telah dijelaskan sebelumnya maka dilakukan penelitian Simulasi *rip current* menggunakan model *Spectral Wave*, di Pantai Timur Pangandaran.

2. MATERI DAN METODE PENELITIAN

2.1 *Rip Current*

Rip current merupakan arus balik yang bergerak dari pantai menuju ke laut yang dapat terjadi setiap hari, dengan kondisi yang bervariasi, dari yang kecil, pelan dan tidak berbahaya, sampai arus yang dapat menyeret orang ke tengah laut dan dibangun oleh hubungan antara gelombang yang datang menuju pantai dan kondisi morfologi pantai (NOAA, 2005). *Rip current* terkonsentrasi melewati jalur sempit yang mengalir kuat ke arah laut dari zona hampasan melintasi gelombang pecah hingga ada di laut lepas pantai (Sunarto, 2003). *Rip current* terkonsentrasi melewati jalur sempit yang mengalir kuat ke arah laut dari zona hampasan melintasi gelombang pecah hingga ada di laut lepas pantai (Sunarto, 2003). *Rip current* terjadi karena adanya variasi sepanjang pantai dan tinggi gelombang pecah.

Rip current terdiri dari beberapa bagian arus, yaitu arus pengisi, leher arus, dan kepala arus. Kecepatan *rip current* dapat mencapai 1 m/s – 2 m/s . arus ini dapat melebar hingga 61-762 m, namun umumnya memiliki lebar kurang dari 9 m. Interaksi yang kompleks antara gelombang, arus dan morfologi pantai dapat membentuk *rip current* (Ghorbani & Rasulyjamnany, 2012).

2.2 Pemodelan *Spectral Wave*

MIKE 21 modul *Spectral Wave* dapat digunakan untuk prediksi gelombang dan analisa dalam skala regional dan skala lokal. *MIKE 21 SW* juga digunakan dalam hubungannya dengan perhitungan transportasi sedimen, yang sebagian besar ditentukan oleh kondisi gelombang dan *wave-induced currents*. *Wave-induced current* disebabkan oleh *gradient radiation stresses* yang terjadi di *surf zone*. *MIKE 21 SW* dapat digunakan untuk prediksi gelombang dan analisa dalam skala regional dan skala lokal. *MIKE 21 SW* dapat digunakan untuk menghitung kondisi gelombang dan *radiation stresses*. Dalam modul ini, persamaan pengaturnya adalah persamaan keseimbangan gaya gelombang baik dalam koordinat kartesian pada **Persamaan 2.a** maupun *spherical* pada **Persamaan 2.b**.

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{v}N) = \frac{S}{\sigma}$$

Halmana:

$N(\vec{x}, \sigma, \theta, t)$	= Rapat Gaya,
$\vec{x} = \text{waktu}, \vec{x}(x, y)$	= Koordinat Kartesian,
$\vec{v}(cx, cy, c\sigma, c\theta)$	= Kecepatan Propagansi Grup Gelombang Empat Dimensi,
S	= <i>Source</i> . Kordinat <i>Spherical</i> .

$$\hat{N} = NR^2 \cos \phi = \frac{ER^2}{\sigma}$$

halmana:

$N(\vec{x}, \sigma, \theta, t)$	= Rapat Gaya,
$\vec{x}(\phi, \lambda)$	= Koordinat <i>Spherical</i> , di mana $\phi = \text{latitude}$ dan $\lambda = \text{longitude}$,
E	= kecepatan propagansi grup gelombang empat dimensi,
R	= source.

2.3 Flow Model FM

Flow Model FM MIKE 21 adalah suatu perangkat lunak rekayasa profesional yang berisi sistem pemodelan yang komprehensif untuk program komputer 2D *free surface flows*. MIKE21 dapat diaplikasikan untuk simulasi hidrolik dan fenomena terkait sungai, pantai maupun di laut. MIKE21 terdiri atas beberapa modul, salah satunya *Hydrodynamic Module (HD)*. *Hydrodynamic Module* adalah model matematik untuk menghitung perilaku hidrodinamika air terhadap berbagai macam fungsi gaya. **Persamaan 1.a, Persamaan 1.b, dan Persamaan 1.c** berikut menggambarkan aliran dan perbedaan muka air:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} &= \frac{\partial d}{\partial t} \\ \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_q - fVV_x \\ &+ \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (\rho_a) = 0 \\ \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_q - fVV_y \\ &+ \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial xy} (\rho_a) = 0 \end{aligned}$$

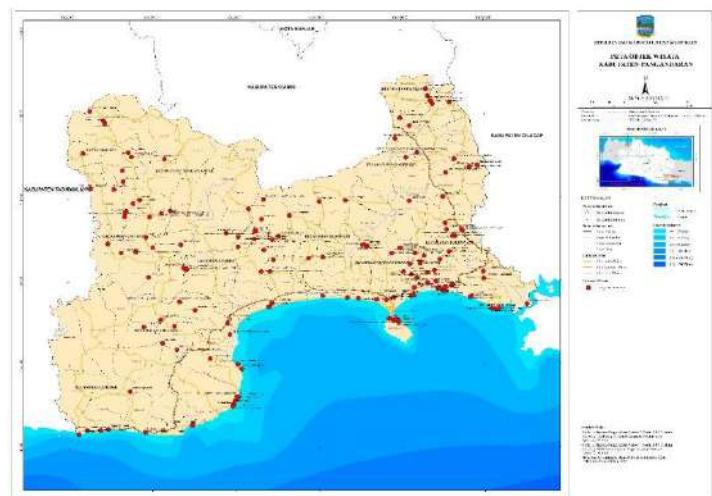
(x, y, t)	= Kedalaman air [m], $d(x, y, t)$
	= kedalaman air dalam berbagai waktu [m],
$\zeta(x, y, t)$	= Elevasi permukaan [m],
$p, q(x, y, t)$	= <i>Flux density</i> dalam arah x dan y [$\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$]
	= (uh, vh) ; $(u, v) = \text{depth average velocity}$ dalam arah x dan y ,
$C(x, y)$	= Tahanan Chezy [$\text{m}^{1/2}/\text{s}$],
g	= Kecepatan gravitasi [m/s^2],
$f(V)$	= Faktor gesekan angin,
$V, Vx, Vy(x, y, t)$	= Kecepatan angin dalam arah x dan y [m/s],
$\Omega(x, y)$	= Parameter Coriolis [s^{-1}],
$pa(x, y, t)$	= Tekanan atmosfer [$\text{kg}/\text{m}/\text{s}^2$],
ρ_w	= Berat jenis air [kg/m^3],

(x, y) = Koordinat ruang [m],
 t = Waktu [s],
 $\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$ = Komponen *effective shear stress*.

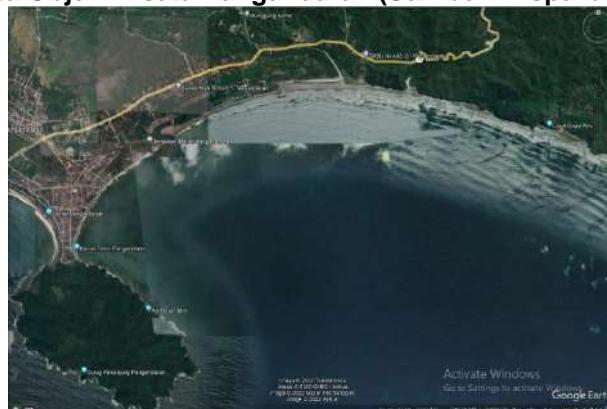
3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Pemodelan *rip current* dengan gelombang tipe *specral wave* ini berada pada Kabupaten Ciamis, Jawa Barat. Koordinat Pantai Timur Pangandaran berada di $108^{\circ}30'BT$ hingga $108^{\circ}40'BT$ dan $7^{\circ}40'20"LS$ hingga $7^{\circ}50'20"LS$



Gambar 3. 1 Peta Objek Wisata Pangandaran (Sumber: Disparbud Pangandaran)



Gambar 3. 2 Pantai Timur Pangandaran (Sumber: Google Earth 2020)

3.2 Sumber Data Penelitian

Pengumpulan data merupakan hal yang penting dalam melakukan penelitian. Data merupakan sumber informasi yang dikumpulkan dan digunakan sebagai acuan perbandingan dalam perencanaan. Data yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain:

1. Data batimetri (Diperoleh dari DEMNAS),
2. Data pasang surut (Diperoleh dari *Sea Level Station Monitoring Facility*),
3. Data angin (Diperoleh dari NOAA)

3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan melakukan pemodelan dengan *software* pemodelan hidrodinamika 2DH. Pemodelan dibagi menjadi tiga tahap, yaitu *input*, *processing* model, dan *output*. Tahap *input* merupakan tahap awal dalam pembuatan model seperti mempersiapkan data inputan, seperti pengolahan batimetri, pasang surut dan data angin. Tahap *processing* model merupakan tahap memasukkan data *input* dan persiapan untuk menjalankan model. Tahapan *output* merupakan tahap akhir pemodelan yang dilakukan untuk menginterpretasikan hasil model.

3.4 Langkah Penelitian

Tahap pertama dalam melakukan penelitian ini adalah menentukan rumusan masalah yang terjadi pada pantai timur, Pangandaran. Tahapan berikutnya yaitu melakukan studi literatur mengenai hal yang berkaitan dengan rumusan masalah yang dibuat. Pengumpulan data yang diperlukan dalam penelitian seperti peta batimetri, data pasang surut dan data angin.

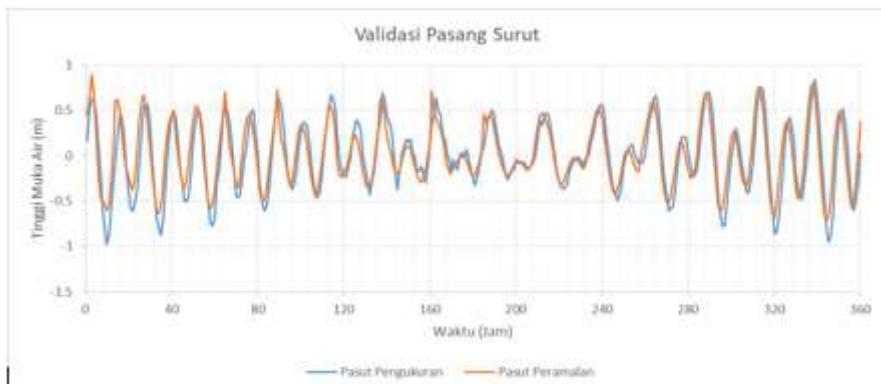
Setelah mendapatkan data, kemudian melakukan pengolahan data angin yang diperoleh dari NOAA. Kemudian dilakukan pemodelan hidrodinamika menggunakan data batimetri dan data pasang surut untuk mendapatkan data tinggi muka air di perairan Pangandaran. Tahap selanjutnya yaitu melakukan validasi pemodelan menggunakan data pasang surut pengamatan dibandingkan dengan tinggi muka air hasil pemodelan. Validasi dilakukan hingga pasang surut simulasi sesuai fase dan amplitudonya dengan pasang surut pengukuran.

Setelah itu melakukan pemodelan *Spectral Wave* menggunakan tinggi gelombang dari *hindcasting* gelombang dan *output* tinggi muka air dari hasil pemodelan hidrodinamika 2DH. *Output* dari pemodelan *Spectral Wave* adalah tinggi gelombang dan pola arus di perairan dangkal.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Validasi Pemodelan

Pada tahap pemodelan untuk validasi ini menggunakan data batimetri skala besar yang sudah dilakukan *mesh*. Pemodelan hidrodinamika ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan pasang surut pengukuran dan pasang surut peramalan. Proses pemodelan ini dilakukan selama 15 hari mulai dari 6 Agustus 2020. Validasi merupakan tingkat pembuktian data yang diteliti. Berikut merupakan *output* dari pemodelan hidrodinamika.



Gambar 4. 1 Validasi Pasang Surut Pengukuran dengan Pasang Surut Peramalan

Berikut ini pada **Gambar 4.1** merupakan hasil dari validasi pasang surut pengukuran yang dibandingkan dengan pasang surut peramalan. Didapatkan RMSE (*Root Mean Square Error*), dengan nilai 10,3%. Dengan nilai RMSE = 10% maka hasil dari pasang surut pemodelan mendekati hasil pasang surut pengukuran, sehingga hasil dari pemodelan hidrodinamika ini dapat digunakan untuk pemodelan pada *MIKE21 Spectral Wave*.

4.2 Pemodelan Gelombang

Pemodelan gelombang ini menggunakan *software MIKE21 Spectral Wave* untuk transformasi gelombang. Data angin arah barat dan arah timur selama satu bulan digunakan untuk pemodelan ini. Untuk input batimetri, menggunakan data batimetri skala kecil yang sudah di mesh, kemudian melakukan analisis gelombang menggunakan *hindcasting* dan periode ulang gelombang untuk mengetahui tinggi dan periode gelombang untuk di input ke dalam *MIKE21 Spectral Wave*, hasil validasi dari pemodelan hidrodinamika dimasukkan ke dalam *MIKE21 Spectral Wave*, kemudian memasukkan *input* untuk *output* seperti *output file* dan parameter yang dihasilkan, tinggi dan periode gelombang dan dilakukan proses *running* selama kurang lebih 30 sampai 38 jam. Hasil *output* yang dihasilkan berupa arah gelombang dan transformasi gelombang.

4.2.1. Analisis Gelombang

Fetch adalah panjang keseluruhan suatu daerah pembangkitan gelombang di mana angin berhembus dengan arah dan kecepatan yang konstan. Untuk perhitungan peramalan gelombang dibutuhkan panjang efektif fetch. Berikut ini merupakan hasil dari perhitungan fetch effektif pada musim barat dan musim timur, sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Perhitungan Fetch Musim Timur

line	α	$\cos \alpha$	length - X_i (m)	$X_i \cos \alpha$
7	-42	0.743	17760	13198.252
6	-36	0.809	16950	13712.838
5	-30	0.866	18308	15855.193
4	-24	0.914	244.8	223.636
3	-18	0.951	242	230.156
2	-12	0.978	249.5	244.048
1	-6	0.995	256.8	255.393
0	0	1.000	248.5	248.500
1	6	0.995	227	225.756
2	12	0.978	194.5	190.250
3	18	0.951	158	150.267
4	24	0.914	129.15	117.984
5	30	0.866	0	0.000
6	36	0.809	0	0.000
7	42	0.743	0	0.000
Total		13.511		44652.273
Fetch eff				3304.903

Tabel 4. 2 Perhitungan Fetch Musim Barat

line	α	$\cos \alpha$	length - X_i (m)	$X_i \cos \alpha$
7	-42	0.743	0	0.000
6	-36	0.809	0	0.000
5	-30	0.866	0	0.000
4	-24	0.914	0	0.000
3	-18	0.951	0	0.000
2	-12	0.978	0	0.000
1	-6	0.995	0	0.000
0	0	1.000	0	0.000
1	6	0.995	0	0.000
2	12	0.978	200000	195629.520
3	18	0.951	316000	300533.859
4	24	0.914	353000	322481.547
5	30	0.866	404000	349874.263
6	36	0.809	448000	362439.613
7	42	0.743	491000	364884.109
Total		13.511		1895842.912
Fetch eff				140319.333

4.2.2. Tinggi Gelombang

Analisis tinggi gelombang di laut dalam berdasarkan data angin sebagai pembangkit gelombang. Berdasarkan hasil perhitungan *fetch* dapat digunakan untuk menghitung tinggi dan periode gelombang dengan menggunakan metode SPM (*Shore Protection Manual*).

Tabel 4. 3 Urutan Kejadian Gelombang Terbesar Musim Timur

Tahun	Bulan	Hm0	Tp	Hs	Ts
2020	Agustus	0.24	1.88	0.23	1.85

Tabel 4. 4 Urutan Kejadian Gelombang Terbesar Musim Barat

Tahun	Bulan	Hm0	Tp	Hs	Ts
2020	Desember	0.41	2.88	1.06	4.87

Hasil analisis tinggi gelombang menggunakan *fetch* dan *hindcasting* dengan metode SPM (*Shore Protection Manual*) diperoleh nilai tinggi gelombang pada musim timur dengan tinggi gelombang Hm0 0,24 m, dan Hs 0,23 m, sedangkan untuk musim barat tinggi gelombang tertinggi dengan tinggi gelombang Hm0 0,41 m dan Hs 1,06 m.

4.3 Parameter Pemodelan

Berikut parameter yang digunakan dalam pemodelan:

Tabel 4. 5 Parameter Pemodelan *Flow Model FM*

Parameter pemodelan dalam aplikasi	
<i>Flow Model FM</i>	
Musim Timur	
<i>Mesh and Bathymetry</i>	Hasil interpolasi mesh
	<i>no of time step</i> = 360
	<i>simulation start date</i> = 6/8/2020
	<i>simulation end date</i> = 20/8/2020
	<i>drying depth</i> = 0.005 m
	<i>flooding depth</i> = 0.05 m
	<i>wetting depth</i> = 0.1 m
<i>Bed Resistance</i>	<i>manning</i> = $28^{\frac{1}{3}}$ m ² /s
<i>Boundary Condition</i>	<i>tide prediction of height</i>
Musim Barat	
<i>Mesh and Bathymetry</i>	Hasil interpolasi mesh
	<i>no of time step</i> = 360
	<i>simulation start date</i> = 1/12/2020
	<i>simulation end date</i> = 16/12/2020
	<i>drying depth</i> = 0.005 m
	<i>flooding depth</i> = 0.05 m
	<i>wetting depth</i> = 0.1 m
<i>Bed Resistance</i>	<i>manning</i> = $28^{\frac{1}{3}}$ m ² /s
<i>Boundary Condition</i>	<i>tide prediction of height</i>

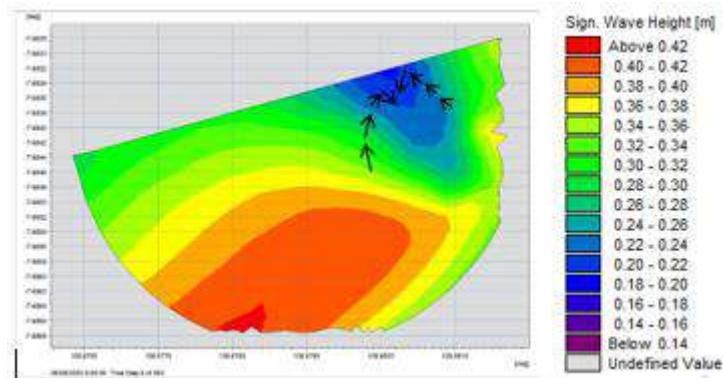
Tabel 4. 6 Parameter Pemodelan *Spectral Wave*

<i>Spectral Wave</i>	
<i>Mesh and Bathymetry</i>	Hasil interpolasi mesh
<i>Water Level Conditions</i>	<i>Output Flow Model FM</i>
	Musim Barat
	<i>Significant Wave height</i> = 1.06 m
	<i>Peak Wave Period</i> = 4.87 s
	<i>Mean Wave direction</i> = 270°
	<i>Directional Spreading index</i> = 5°
	Musim Timur
	<i>Significant Wave height</i> = 0.23 m
	<i>Peak Wave Period</i> = 1.85 s
	<i>Mean Wave direction</i> = 112.5°
	<i>Directional Spreading index</i> = 5°

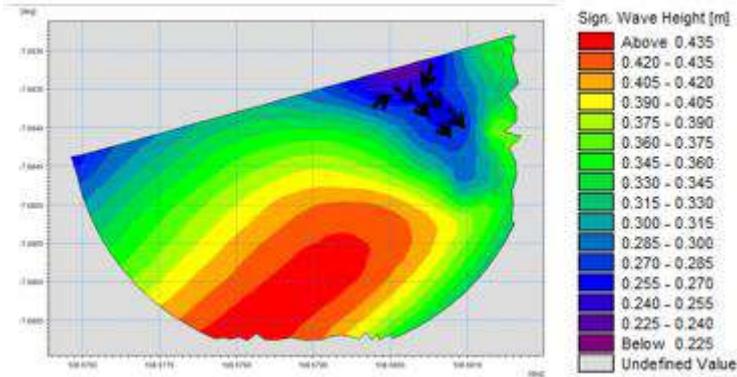
4.4 Pemodelan Spectral Wave

Setelah melakukan *running* pada *software MIKE21 Spectral Wave* didapatkan hasil pemodelan gelombang pada musim timur dan musim barat.

4.4.1 Pemodelan Musim Timur



Gambar 4. 2 Transformasi Gelombang Sebelum Terjadi *Rip Current* pada *time step* ke-6



Gambar 4. 3 Transformasi Gelombang Saat Terjadi *Rip Current* pada *time step* ke-13

Sebagai bentuk validasi, dilakukan perbandingan antara hasil pemodelan pada **Gambar 4.25** dengan hasil dari citra satelit *google earth* pada **Gambar 4.28**. Dari perbandingan tersebut, secara visual dapat dikatakan bahwa *rip current* yang terbentuk memiliki pola yang mirip.



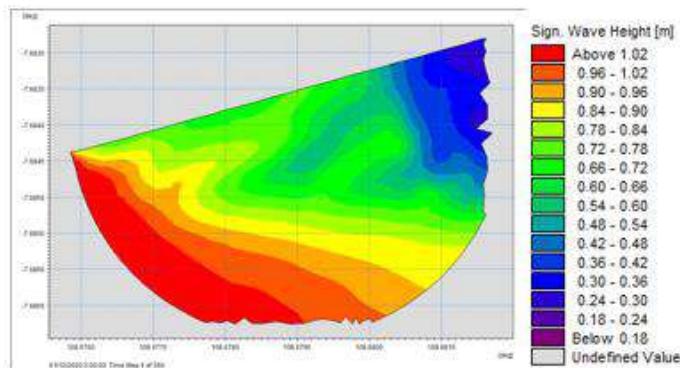
Gambar 4. 4 Tampak Atas Pada Lokasi Penelitian



Gambar 4. 5 Penampang Melintang Musim Timur

4.4.2 Pemodelan Musim Barat

Berikut ini merupakan *output* dari transformasi gelombang *MIKE 21 Spectral Waves* pada musim barat.



Gambar 4. 6 Transformasi Gelombang Timestep Ke 5 Pada Musim Barat



Gambar 4. 7 Penampang Melintang Musim Barat

5. KESIMPULAN

- Hasil simulasi yang menunjukkan bahwa pasang surut pengamatan hampir menyerupai dengan pasang surut peramalan. Dilakukan validasi pada pemodelan dengan menggunakan RMSE (*Root Mean Square Error*) karena adanya perbedaan tinggi muka air pada beberapa *time-step*. Nilai *manning* yang digunakan $28 \frac{1}{m^3/s}$ menghasilkan nilai RMSE sebesar 10,3% sehingga validasi pada pemodelan dapat digunakan,

2. *Rip current* telah berhasil dimodelkan oleh modul hidrodinamika *Flow Model Flexible Mesh* dan modul *Spectral Wave*,
3. Arus *rip current* diketahui dari adanya perbedaan lokasi gelombang pecah yang menyebabkan adanya perbedaan tinggi muka air.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada pihak-pihak yang membantu selama persiapan hingga pelaksanaan penelitian, Kepala Unit Siaga SAR Pangandaran, dan pihak BPBD

DAFTAR RUJUKAN

- Darmawan, A., & Kurniadi, Y. N. (2019). Analisis Hidrodinamika dan Transformasi Gelombang bagi Re-design Breakwater di Pelabuhan Klungkung Bali. (Hal. 95-105). *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*.
- Deskaranti, R., & Budi Prasetyawan, I. (2017). *PEMODELAN RIP CURRENT MENGGUNAKAN MODEL GELOMBANG TIPE BOUSSINESQ (WILAYAH KAJIAN: PANTAI KLAYAR JAWA TIMUR)* (Vol. 6, Issue 1). <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jose>
- Deskaranti, R., Budi Prasetyawan, I., & Kunarso. (2017). PEMODELAN RIP CURRENT MENGGUNAKAN MODEL GELOMBANG TIPE BOUSSINESQ (WILAYAH KAJIAN : PANTAI KLAYAR JAWA TIMUR). *JURNAL OSEANOGRAFI*, 6(1), 213–220. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jose>
- Ghorbani, A., & Rasulyjamnany, A. (2012). The modelling of rip channel in creation of rip currents. *Indian Journal of Science and Technology*, 5(4). <http://www.indjst.org> IndianJ.Sci.Techol.
- MIKE 21 SW Spectral Waves FM Module User Guide*. (n.d.).
- Mulyabakti, C., Ihsan Jasin, M., & Mamoto, J. D. (2016). ANALISIS KARAKTERISTIK GELOMBANG DAN PASANG SURUT PADA DAERAH PANTAI PAAL KECAMATAN LIKUPANG TIMUR KABUPATEN MINAHASA UTARA. *Jurnal Sipil Statik*, 4(9), 585–594. <http://eprints.undip.ac.id/>
- S, H. S. R., Agnestasia, T., & Syahfutra, N. (2009). Modul Pemodelan Flow Model 2-D dengan MIKE 21 DHI Enviroment (flexible mesh). In *Trika*.
- Sunarto. (2003). *Geomorfologi Pantai: Dinamika Pantai*.