

Analisis Hidrodinamika dan Transformasi Gelombang bagi *Re-design Breakwater* di Pelabuhan Klungkung Bali

ALIF FARHAN DARMAWAN, YESSI NIRWANA KURNIADI

Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional
Email: aliffarhand27@gmail.com

ABSTRAK

Pelabuhan Gunaksa Klungkung, Bali memerlukan breakwater untuk melindungi pelabuhan dari gelombang tinggi. Analisis saat ini menunjukkan bahwa breakwater yang ada tidak dapat mereduksi tinggi gelombang yang terjadi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuktikan bahwa breakwater yang ada saat ini tidak dapat mereduksi tinggi gelombang yang terjadi dengan analisis hidrodinamika dan transformasi gelombang. Pemodelan hidrodinamika di Pelabuhan Gunaksa dilakukan dengan cara mensimulasi gelombang dan melakukan kalibrasi data pasang surut pemodelan dengan pengamatan. Hasil dari simulasi ini menunjukkan bahwa saat pasang purnama arus bergerak dari barat daya ke timur laut dengan elevasi muka air tertinggi 0,9 m dan tinggi gelombang sebesar 0,56–0,64 m. Pada kondisi pasang perbani arus bergerak dari timur laut ke barat daya dengan elevasi muka air terendah -1,02 m dan tinggi gelombang sebesar 0,48 – 0,56 m. Tinggi gelombang yang terjadi melebihi 0,5m, oleh sebab itu Pelabuhan Gunaksa membutuhkan re-design breakwater.

Kata kunci: pemodelan, hidrodinamika, transformasi gelombang

ABSTRACT

Gunaksa Harbour Klungkung, Bali needs breakwater to protect the harbour from high waves. Former analysis shows that the existing breakwater cannot reduce the height waves. The purpose of this research is to prove that the existing breakwater cannot reduce the height waves by hydrodynamic conditions and wave transformation. Hydrodynamic modeling of Gunaksa Harbour, simulating waves and calibrated against data from a substantial field. Modeling results indicated that at spring tide, the current waves from southwest to northeast with the highest water level 0,9 m with the wave height is 0,56- 0,64 m, while at neap tide, the current waves from northeast to southwest with the lowest water level -1,02 m with the wave height is 0,48 – 0,56 m. The wave height requirements for harbour is 0,5 m, however the wave height is higher than 0,5 m, therefore Gunaksa Harbour could need re-design breakwater.

Keywords: modeling, hydrodynamic, wave transformation

1. PENDAHULUAN

Kabupaten Klungkung merupakan salah satu dari sembilan kabupaten/kota di Propinsi Bali. Kabupaten Klungkung dibagi dalam tiga wilayah kecamatan di daratan Pulau Bali dan satu wilayah kecamatan di Kepulauan Nusa Penida. Pertumbuhan dan perkembangannya, Kecamatan Nusa Penida cukup tertinggal jauh dibandingkan dengan tiga kecamatan yang berada di Klungkung daratan. Kendala utamanya adalah masalah aksesibilitas. Pemerintah Kabupaten Klungkung membangun Pelabuhan Angkutan Sungai dan Penyeberangan (ASDP) yang memiliki rute dari Padang Bai sampai ke Lembar yang dimulai pada Oktober 2003 dan selesai pada bulan Juli 2006.

Pelabuhan ASDP Klungkung ini memiliki tinggi gelombang yang dominan terutama dari arah timur, tenggara, timur, yaitu 1,1–1,4 m. Kriteria tinggi gelombang pada pelabuhan memiliki tinggi gelombang maksimum 0,5 m. Tinggi gelombang dominan yang terjadi melebihi 0,5 m yang mengakibatkan kapal tidak dapat berlabuh dengan baik. Pelabuhan ASDP ini memerlukan *breakwater* untuk menjaga area sekitar pelabuhan dari gelombang.

Analisis diperlukan untuk mengetahui bahwa *breakwater* yang ada mampu melindungi pelabuhan dari gelombang. Penelitian dilakukan dengan analisis hidrodinamika dan transformasi gelombang.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pemodelan Hidrodinamika 2DH

1. Flow Model FM

MIKE 21 memiliki kemampuan untuk memodelkan fenomena-fenomena yang terkait dengan sungai, danau, teluk, pantai, dan laut. MIKE 21 *Flow Model FM* adalah satu sistem modeling berbasis pada satu pendekatan *flexible mesh* yang dikembangkan untuk aplikasi didalam *oceanografi*, rekayasa pantai, dan muara sungai. *Flow Model FM* itu sendiri terdiri atas beberapa modul, diantaranya *Hydrodynamic Module*. *Hydrodynamic Module* adalah model matematika untuk menghitung perilaku hidrodinamika air terhadap berbagai macam fungsi gaya. **Persamaan 1**, **Persamaan 2**, dan **Persamaan 3** berikut menggambarkan aliran dan perbedaan muka air.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t} \quad \dots(1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{c^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_q - fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0 \quad \dots(2)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{c^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_p - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial xy} (p_a) = 0 \quad \dots(3)$$

dengan:

$h(x, y, t)$ = kedalaman air [m],

$d(x, y, t)$ = kedalaman air dalam berbagai waktu [m],

$\zeta(x, y, t)$ = elevasi permukaan [m],

$p, q(x, y, t)$ = *flux density* dalam arah x dan y [$m^3/s/m$] = (uh, vh) ; (u, v)
= *depth average velocity* dalam arah x dan y ,

$C(x, y)$ = tahanan Chezy [$m^{1/2}/s$],

- g = kecepatan gravitasi [m/s^2],
- $f(V)$ = faktor gesekan angin,
- $V, V_x, V_y(x, y, t)$ = kecepatan angin dalam arah x dan y [m/s],
- $\Omega(x, y)$ = parameter Coriolis [s^{-1}],
- $p_a(x, y, t)$ = tekanan atmosfer [$kg/m/s^2$],
- ρ_w = berat jenis air [kg/m^3],
- (x, y) = koordinat ruang [m],
- t = waktu [s],
- $\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$ = komponen *effectiveshear stress*.

2. Spectral Waves FM

Prediksi gelombang dan analisis gelombang dalam skala regional dan skala lokal serta perhitungan transportasi sedimen yang sebagian besar ditentukan oleh kondisi gelombang dan *wave-induced currents*. *Wave-incuded current* disebabkan oleh *gradient radiation stressed* yang terjadi pada *surf zone*. Koordinat kartesius keseimbangan gaya gelombang dapat dilihat pada **Persamaan 4** dan koordinat spherical gaya gelombang dapat dilihat pada **Persamaan 5**.

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{v}N) = \frac{S}{\sigma} \quad \dots(4)$$

$$\hat{N} = NR^2 \cos \phi = \frac{ER^2 \cos \phi}{\sigma} \quad \dots(5)$$

dengan:

- $N(\vec{x}, \sigma, \theta, t)$ = rapat gaya,
- t = waktu [detik],
- $\vec{x}(x, y)$ = koordinat kartesian,
- $\vec{v}(c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta)$ = kecepatan propagansi grup gelombang empat dimensi [m/s],
- S = *source*,
- $\vec{x}(\phi, \lambda)$ = koordinat spherical, dimana ϕ = *latitude* dan λ = *longitude*,
- E = kecepatan propagansi grup gelombang empat dimensi [m/s],
- R = *source*.

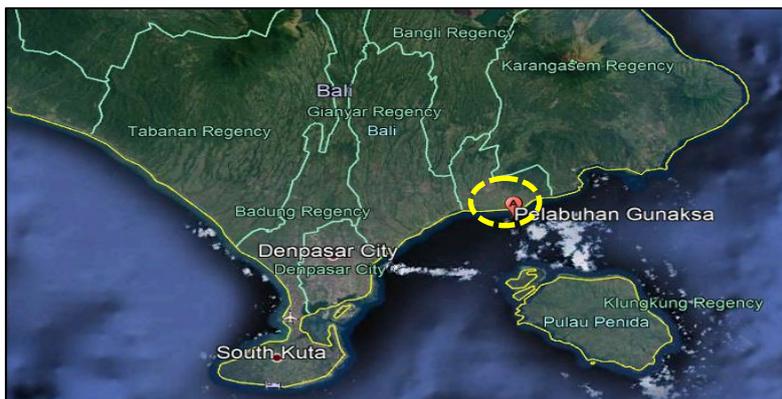
2.2 Analisis Hidrodinamika dan Transformasi Gelombang

Berdasarkan penelitian Fadli (2014) kondisi hidrodinamika dilihat pada dua kondisi, yaitu pada kondisi pasang purnama dan kondisi pasang perbani. Pada kondisi pasang purnama akan menghasilkan nilai pasang surut tertinggi, hal ini disebabkan karena posisi bulan, bumi, dan matahari yang segaris sehingga gaya tarik gravitasi dalam keadaan maksimum, sedangkan pada kondisi pasang perbani akan menghasilkan nilai pasang surut terendah, hal ini disebabkan karena posisi bumi, bulan, dan matahari yang membentuk sudut 90° sehingga gaya tarik gravitasinya minimum. Pada pemodelan transformasi gelombang dapat dilihat elevasi muka air di mulut kolam pelabuhan.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada kawasan pelabuhan Gunaksa Kabupaten Klungkung secara geografis terletak di lintang $-8,573311^\circ$ dan bujur $115,433595^\circ$ (**Gambar 1**).



Gambar 1. Lokasi penelitian (Sumber: Google Earth, 2018)

3.2 Alur Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan rumusan masalah yang terjadi pada *breakwater* di Pelabuhan Gunaksa. Data-data yang diperlukan dalam penelitian adalah data batimetri, data pasang surut, data angin, dan data gelombang. Data-data tersebut diperlukan dalam analisis hidrodinamika dan transformasi gelombang. Validasi data pasang surut dan pemodelannya mengikuti fase dan amplitudo pasang surut pengamatan. Pola hidrodinamika disajikan berupa elevasi muka air dan arah arus. Transformasi gelombang dimodelkan dengan bantuan *software* MIKE 21 modul *Spectral Waves FM*. Hasil dari pemodelan transformasi gelombang berupa arah arus dan tinggi gelombang.

4. PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengolahan Data Validasi

Berikut ini merupakan hasil pengolahan data pasang surut (**Gambar 2**).



Gambar 2. Kurva pasang surut hasil pengamatan

Gambar 2 menunjukkan bahwa pada rentang 8 Juli hingga 22 Juli tinggi muka air terbesar 1,1 m terjadi pada tanggal 12 Juli dan 13 Juli, sedangkan tinggi muka air terendah -1,1 m terjadi pada tanggal 12 Juli dan 13 Juli. Jenis pasang surutnya termasuk jenis pasang surut campuran semi diurnal. Hal ini ditandai dengan terjadi satu kali pasang dan satu kali surut pada hari yang sama namun beberapa kali juga terjadi dua kali pasang dan dua kali surut pada hari yang sama.

4.2 Validasi Data

Berikut ini merupakan parameter yang digunakan **Tabel 1** dan validasi data pasang surut pengamatan dan pemodelan (**Gambar 3**).

Tabel 1. Parameter yang Digunakan dalam Setup Pemodelan Hidrodinamika

Parameter	Diterapkan dalam Pemodelan
<i>Mesh and Bathymetry</i>	Hasil interpolasi <i>mesh</i>
<i>Simulation Period</i>	<i>No. of time step</i> = 360 <i>Time step interval</i> = 3600 s <i>Simulation start date</i> = 7/8/2006 <i>Simulation end date</i> = 7/22/2006
<i>Eddy Viscosity</i>	<i>Constant Value</i> = 0,28
<i>Bed Resistance</i>	<i>Manning</i> = 37 m ^{1/3} /s
<i>Boundary Condition</i>	Hasil prediksi tiap <i>boundary</i>

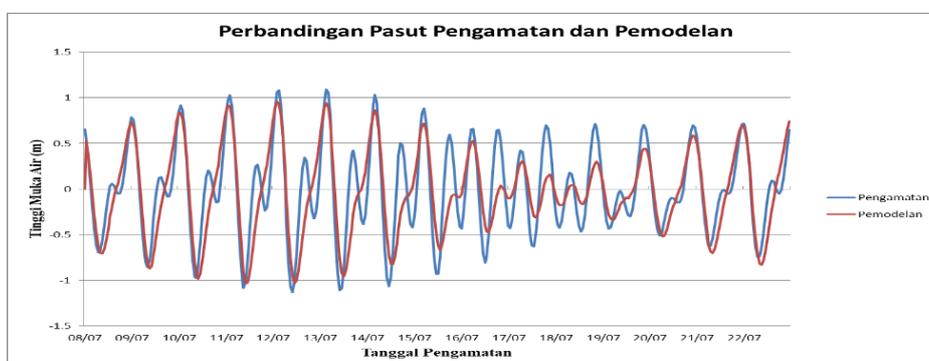
4.3 Simulasi Pemodelan

Dalam pemodelan dilakukan kalibrasi pemodelan agar mendapat hasil yang valid antara pengamatan dengan pemodelan. Percobaan pemodelan dengan berbagai nilai *manning* atau *Bed Resistance* menghasilkan rekapitulasi yang dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Kalibrasi

<i>Bed Resistance</i>	<i>Error Method</i>	<i>Elevasi Muka Air</i>
28	RMSE	0,2957
	Korelasi(%)	81,4605
30	RMSE	0,2982
	Korelasi(%)	81,2799
32	RMSE	0,2960
	Korelasi(%)	81,4301
35	RMSE	0,2967
	Korelasi(%)	81,4632
37	RMSE	0,2954
	Korelasi(%)	81,4853

Berdasarkan hasil tersebut dipilih nilai *manning* = 37 m^{1/3} karena memiliki nilai RMSE dan nilai korelasi yang cukup tinggi dibandingkan yang lainnya. Hasil kalibrasi dapat dilihat pada **Gambar 3**.



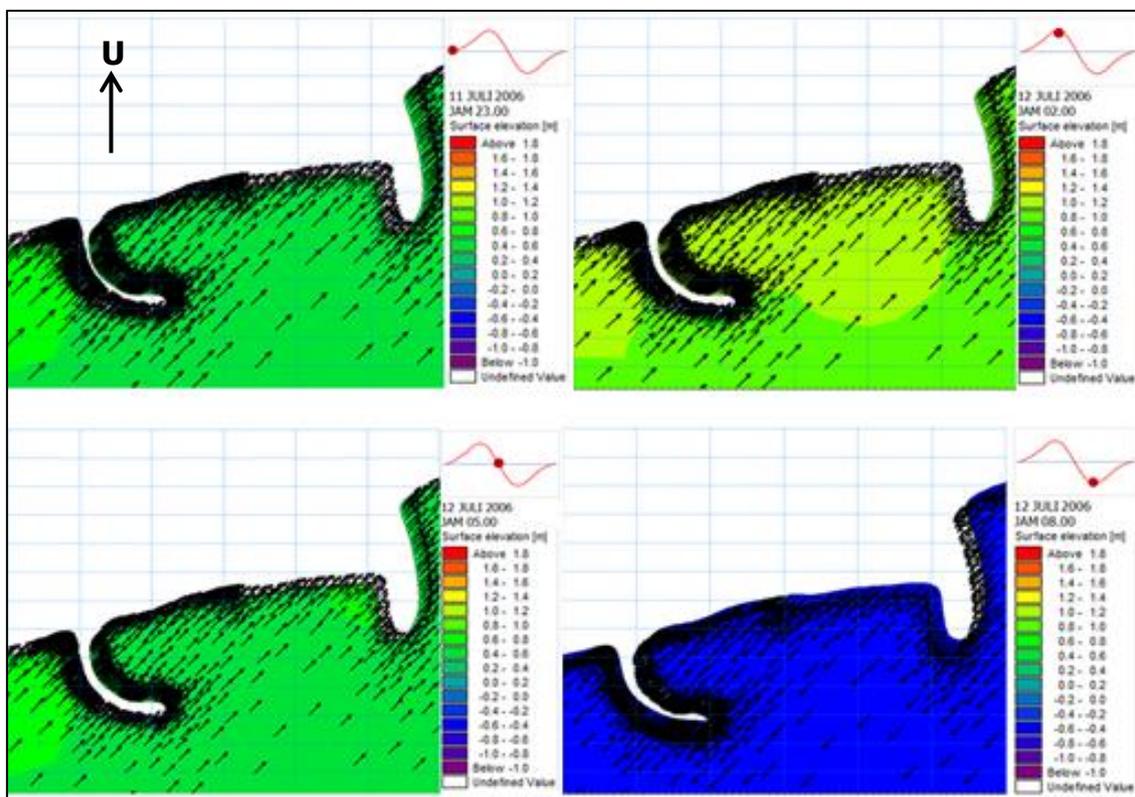
Gambar 3. Grafik perbandingan pasang surut pengamatan dan pemodelan

Gambar 3 menunjukkan bahwa pasang surut pengamatan dan pemodelan hampir sama, namun pada beberapa bagian *time step* terdapat elevasi muka air yang berbeda.

4.4 Hasil Analisis Hidrodinamika

Berikut ini adalah hasil dari simulasi hidrodinamika pada saat angin barat (Desember s.d Februari) dan angin timur (Juni s.d Agustus) dengan kondisi pasang purnama dan kondisi pasang perbani.

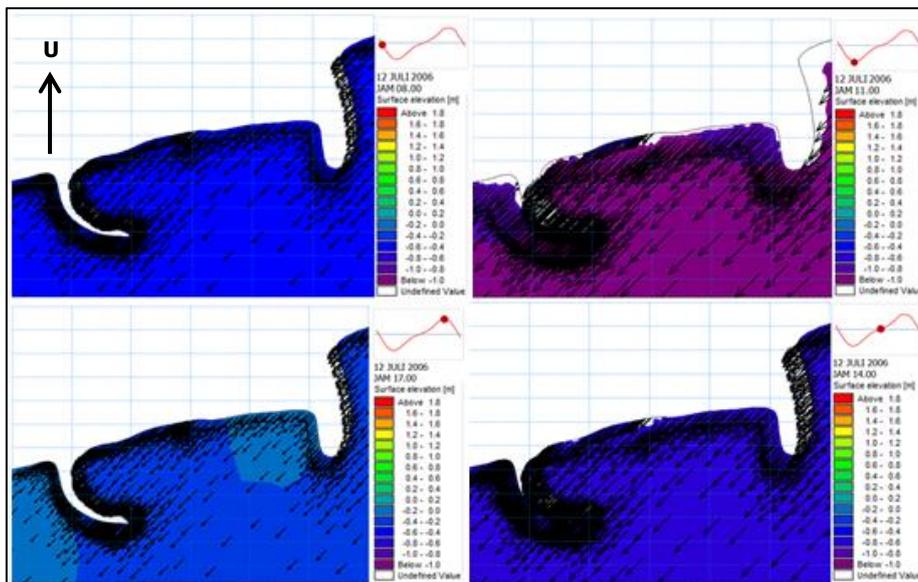
1. Kondisi pasang purnama pada saat angin barat (Desember s.d Februari)



Gambar 4. Kondisi pasang purnama saat angin barat pada tanggal 12 Juli 2006

Gambar 4 menunjukkan kondisi pasang purnama saat angin barat yang menunjukkan beberapa kondisi yaitu pada saat surut menuju pasang yang terjadi pada tanggal 11 Juli 2006 pukul 23.00, pasang tertinggi yang terjadi pada tanggal 12 Juli 2006 pukul 02.00, pasang menuju surut yang terjadi pada tanggal 12 Juli 2006 pukul 05.00, dan surut terendah yang terjadi pada tanggal 12 Juli 2006 pukul 08.00, arus di sekitar pelabuhan ASDP Klungkung Bali bergerak dari arah barat daya ke arah timur laut. Elevasi muka air pada saat surut menuju pasang sebesar 0,54 m, pada saat pasang tertinggi sebesar 0,99 m, pada saat pasang menuju surut sebesar 0,55 m, dan pada saat surut terendah sebesar -0,46 m.

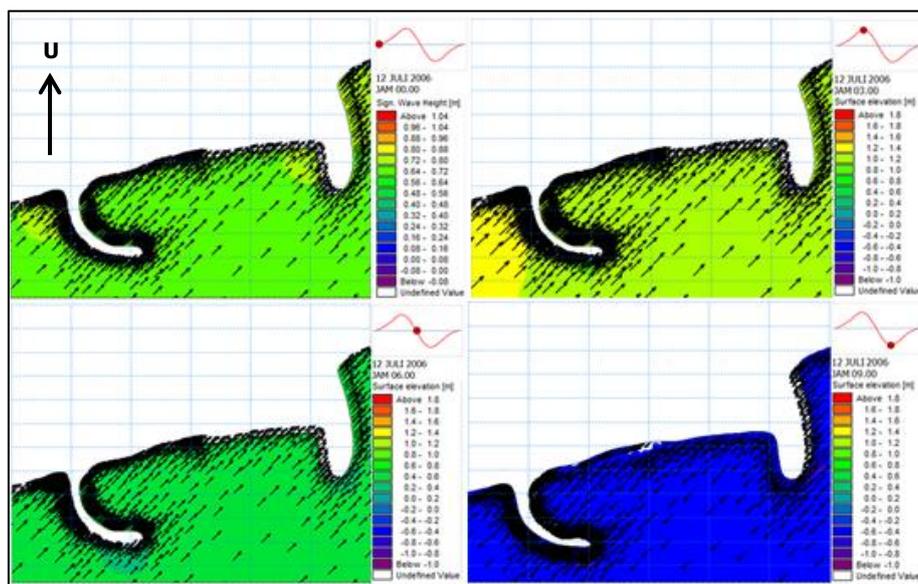
2. Kondisi pasang perbani pada saat angin barat (Desember s.d Februari)



Gambar 5. Kondisi pasang perbani saat angin barat pada tanggal 12 Juli 2006

Gambar 5 menunjukkan kondisi pasang perbani saat angin barat yang masing-masing terjadi pada tanggal 12 Juli 2006 dengan beberapa kondisi, yaitu surut menuju pasang yang terjadi pada pukul 08.00, pasang tertinggi yang terjadi pada pukul 11.00, pasang menuju surut yang terjadi pada pukul 14.00, dan surut terendah yang terjadi pada pukul 17.00, arus di sekitar pelabuhan ASDP Klungkung Bali bergerak dari arah timur laut ke arah barat daya. Elevasi muka air pada saat surut menuju pasang sebesar -0,46 m, pada saat pasang tertinggi sebesar -1,02 m, pada saat pasang menuju surut sebesar -0,71 m, dan pada saat surut terendah sebesar -0,2 m.

3. Kondisi pasang purnama pada saat angin timur (Desember s.d Februari)

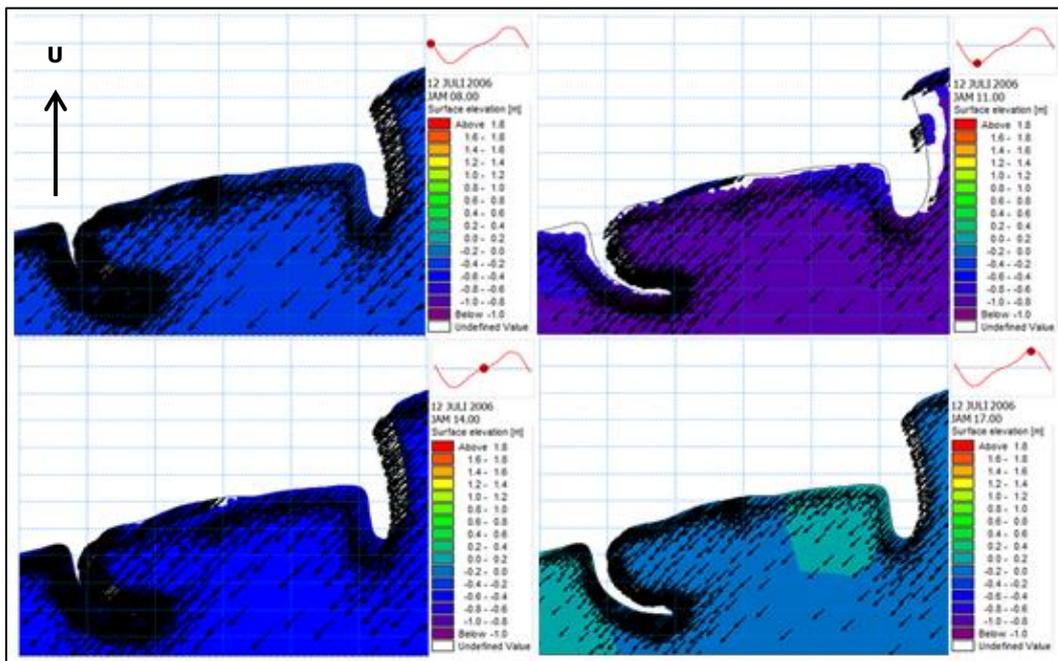


Gambar 6. Kondisi pasang purnama saat angin timur pada tanggal 12 Juli 2006

Gambar 6 menunjukkan kondisi pasang purnama pada saat angin timur yang masing-masing terjadi pada tanggal 12 Juli 2006 dengan beberapa kondisi yaitu surut menuju pasang yang

terjadi pada pukul 00.00 , pasang tertinggi yang terjadi pada pukul 03.00, pasang menuju surut yang terjadi pada pukul 06.00, dan surut terendah yang terjadi pada pukul 09.00, arus di sekitar pelabuhan ASDP Klungkung Bali bergerak dari arah barat daya ke arah timur laut . Elevasi muka air pada saat surut menuju pasang sebesar 0,76 m, pada saat pasang tertinggi sebesar 0,94 m, pada saat pasang menuju surut sebesar 0,23 m, dan pada saat surut terendah sebesar -0,75 m.

4. Kondisi pasang perbani pada saat angin timur (Juni s.d Agustus)



Gambar 7. Kondisi pasang perbani saat angin timur pada tanggal 12 Juli 2006

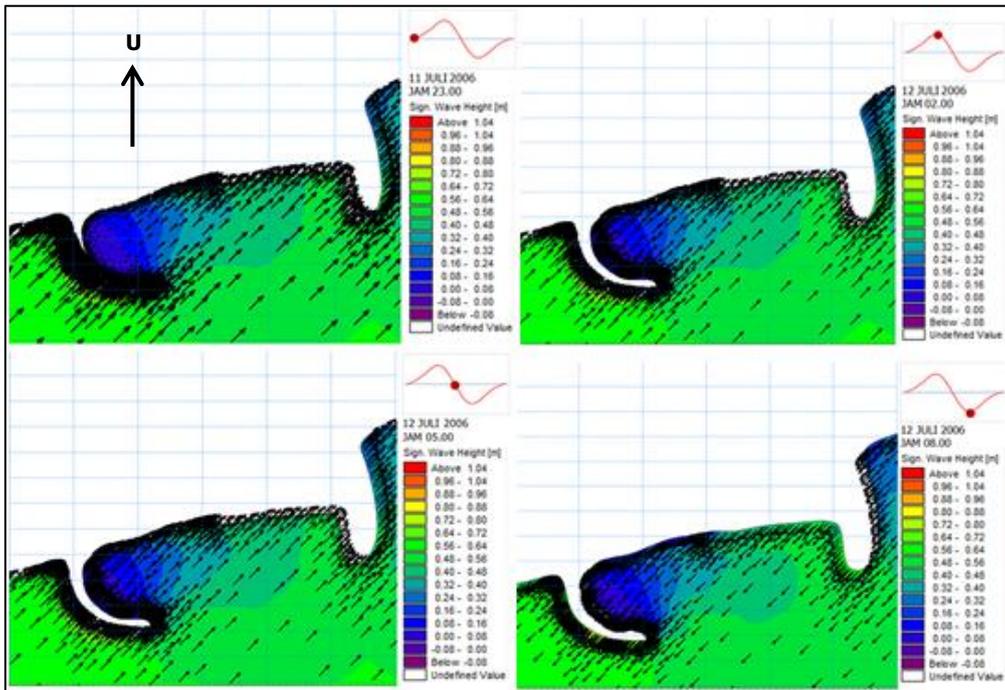
Gambar 7 menunjukkan kondisi pasang perbani pada saat angin timur yang masing-masing terjadi pada tanggal 12 Juli 2006 dengan beberapa kondisi yaitu surut menuju pasang yang terjadi pada pukul 08.00, pasang tertinggi yang terjadi pada pukul 11.00, pasang menuju surut yang terjadi pada pukul 14.00, dan surut terendah yang terjadi pada pukul 17.00, arus di sekitar pelabuhan ASDP Klungkung Bali bergerak dari arah timur laut ke arah barat daya. Elevasi muka air pada saat surut menuju pasang sebesar -0,46 m, pada saat pasang tertinggi sebesar -1,02 m, pada saat pasang menuju surut sebesar -0,71 m, dan pada saat surut terendah sebesar -0,20 m.

4.5 Hasil Analisis Transformasi Gelombang

Berikut ini adalah hasil dari simulasi transformasi gelombang pada saat angin barat (Desember s.d Februari) dan angin timur (Juni s.d Agustus) dengan kondisi pasang purnama dan kondisi pasang perbani.

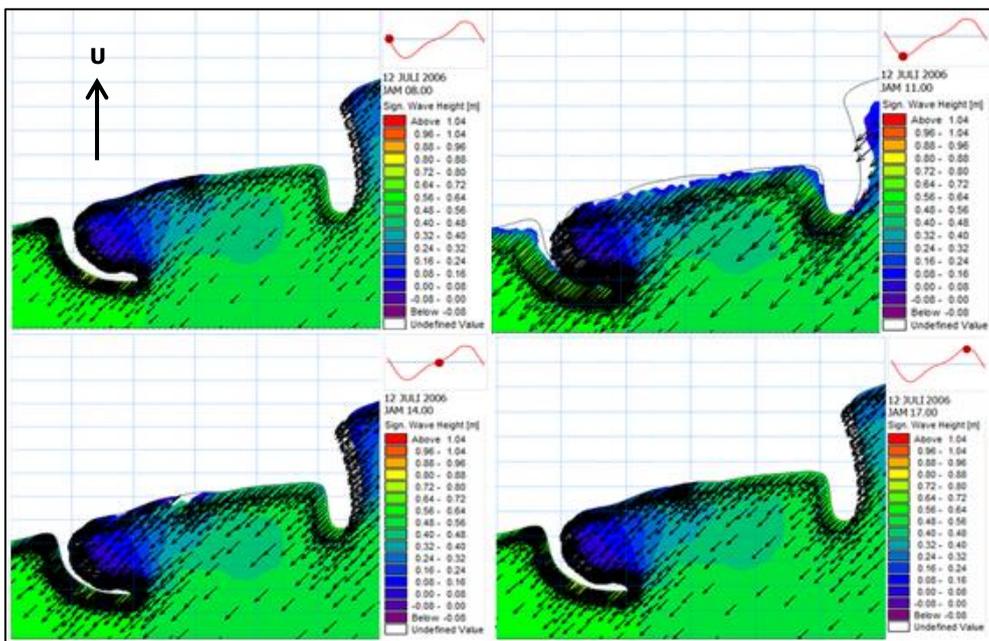
Analisis Hidrodinamika dan Transformasi Gelombang bagi Re-design Breakwater di Pelabuhan Klungkung Bali

1. Kondisi pasang purnama pada saat angin barat (Desember s.d Februari)



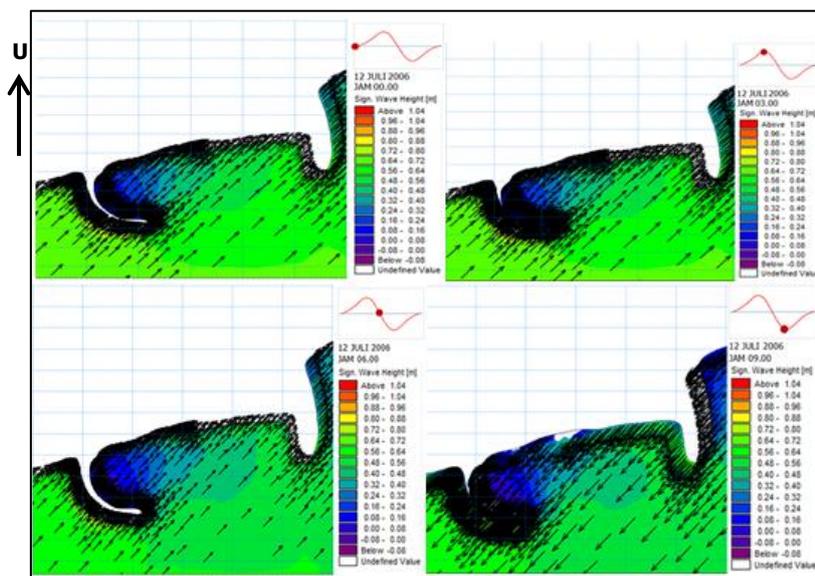
Gambar 8. Transformasi Gelombang pada pasang purnama saat angin barat pada tanggal 12 Juli 2006

2. Kondisi pasang perbani pada saat angin barat (Desember s.d Februari)



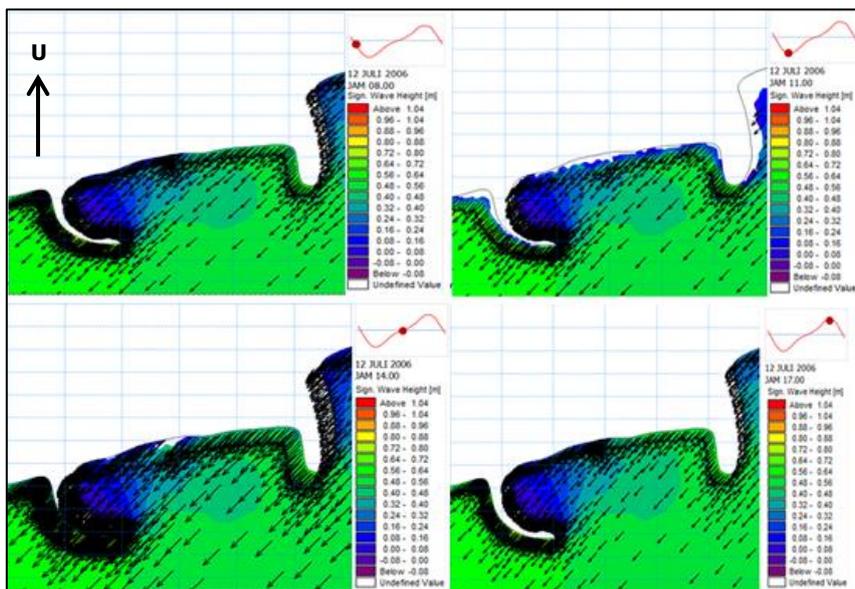
Gambar 9. Transformasi gelombang dengan kondisi pasang perbani saat angin barat pada tanggal 12 Juli 2006

3. Kondisi pasang purnama pada saat angin timur (Juni s.d Agustus)



Gambar 10. Transformasi gelombang dengan kondisi pasang purnama saat angin timur pada tanggal 12 Juli 2006

4. Kondisi pasang perbani pada saat angin timur (Juni s.d Agustus)



Gambar 11. Transformasi gelombang dengan kondisi pasang perbani saat angin timur pada tanggal 12 Juli 2006

Gambar 8 s.d Gambar 11 menunjukkan transformasi gelombang yang terjadi di sekitar mulut kolam pelabuhan. Pada saat pasang purnama baik pada saat angin barat maupun angin timur arus bergerak dari arah barat daya ke arah timur laut yang memiliki tinggi gelombang sebesar 0,56 m – 0,64 m, sedangkan pada kondisi pasang perbani baik saat angin barat maupun angin timur arus bergerak dari arah timur laut ke arah barat daya memiliki tinggi gelombang sebesar 0,48 m – 0,56 m.

5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

1. Hasil dari validasi pasang surut pemodelan memiliki tingkat kesesuaian terhadap kondisi real atau kondisi di lapangan yang dilihat dari nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) dan nilai korelasinya. Pada penelitian ini digunakan *Bed Resistencedengan manning* sebesar $37 \text{ m}^{1/3}$ dengan RMSE sebesar 0,2954 m atau sekitar 29 cm dan korelasi sebesar 81,4853%.
2. Kondisi arus di perairan Pelabuhan Klungkung Bali pada saat pasang purnama, arus bergerak meninggalkan pelabuhan dari arah barat daya ke arah timur laut yang memiliki elevasi muka air tertinggi 0,9 m, sedangkan pada kondisi pasang perbani, arus bergerak meninggalkan pelabuhan dari arah timur laut ke arah barat daya yang memiliki elevasi muka air terendah -1,02 m.
3. Tinggi gelombang terbesar yang terjadi di sekitar mulut pelabuhan pada kondisi pasang purnama baik saat angin barat maupun angin timur memiliki tinggi gelombang sebesar 0,56 m – 0,64 m, sedangkan pada kondisi pasang perbani baik saat angin barat maupun angin timur memiliki tinggi gelombang sebesar 0,48 m – 0,56 m.
4. Dengan tinggi gelombang yang terjadi di sekitar mulut kolam pelabuhan saat pasang purnama sebesar 0,56 m – 0,64 m dan saat pasang perbani sebesar 0,48 m – 0,56 m; tinggi gelombang tersebut melebihi dari syarat tinggi gelombang untuk pelabuhan yaitu 0,5 m; oleh karena itu Pelabuhan ASDP Klungkung membutuhkan *re-design breakwater*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada PT LAPI ITB yang telah memberikan data-data yang dibutuhkan pada penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Fadli, M., Radjawane, I. dan Susanna. (2014). Pemodelan Hidrodinamika di Perairan Teluk Ambon. *Oseanografi*, ____ (____), 13-17.
- PT LAPI ITB. (2006). *Laporan Akhir Pembangunan Pelabuhan ASDP Gunaksa*. Bali
- Triatmodjo, B. (2016). *Teknik Pelabuhan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Triatmodjo, B. (2016). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.