

Re-design Breakwater Di PPI Tulandale Berdasarkan Analisis Hidrodinamika dan Sedimentasi

**REGINA EUGENY DESTIN WIRAWAN, YESSI NIRWANA KURNIADI,
FITRI SUCIATY**

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

ABSTRAK

Pangkalan Pendaratan Ikan Tulandale berada di Kabupaten Rote Ndao, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Breakwater di PPI Tulandale tidak dapat melindungi kolam pelabuhan dari gelombang tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah re-design breakwater pada PPI Tulandale agar dapat melindungi kolam pelabuhan. Simulasi hidrodinamika, transpor sedimen dan transformasi gelombang dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Mike 21 untuk 2 buah skenario. Pada skenario alternatif 1, mulut pelabuhan di perkecil menjadi 50 m dan skenario alternatif 2 pada kondisi breakwater eksisting ditambah bangunan breakwater tegak lurus garis pantai sepanjang 200 m. Simulasi dilakukan selama 15 hari. Hasil analisis pada pemodelan, kondisi arus saat pasang purnama dan perbani bergerak dari arah barat daya kearah timur laut dengan kecepatan 0,00–0,08 m/s untuk alternatif 1, sedangkan kecepatan arus alternatif 2 arus sebesar 0,08–0,16 m/s. Hasil pemodelan hidrodinamika, transpor sedimen dan transformasi gelombang menunjukkan bahwa bentuk re-design breakwater pada alternatif 2 efektif untuk melindungi kolam pelabuhan di PPI Tulandale karena dapat mereduksi gelombang sebesar 46,7% dari gelombang diluar kolam pelabuhan

Kata kunci: *re-design breakwater, hidrodinamika, sedimentasi*

ABSTRACT

Tulandale Fishing Port Tulandale is located in Rote Ndao district, The province of Nusa Tenggara Timur. The Breakwater in Tulandale Fishing Port could not protect the port basin from the height of waves. The aimed of this study is to re-design breakwater in Tulandale Fishing Port in order to protect the port basin. The Hydrodynamic, sediment transport and waves transformation simulation are applied in this study by using mike 21 software for 2 scenarios. In the first scenario, the port basin width is reduced to 50 m and the second scenario is using the existing breakwater condition with the added breakwater building Perpendicular along the coast line for 200m. The simulation run of 15 days. The result show that the condition during the spring tide and neap tide move from south west to north east with 0.00-0.08 m/s for first scenario, while the current speed for the second scenario is is 0.08-0.16 m/s. Hydrodynamic result, sediment transport and wave transformation model that the shape of re-design breakwater on the second scenario more effective to protect the port basin at The Tuandale Fishing Port because the wave decrease at 46.7% from outside the port basin.

Keywords: *re-design breakwater, hydrodynamics, sedimentation*

1. PENDAHULUAN

Kabupaten Rote Ndao sudah memiliki pangkalan pendaratan ikan (PPI) Tulandale, namun pada PPI Tulandale kondisinya saat ini masih terbilang kurang memadai, karena mulut pelabuhan yang besar serta arus pada lokasi PPI Tulandale yang dominan mengarah kedalam kolam pelabuhan sehingga menyebabkan kapal-kapal sulit bersandar. Data BMKG pada tahun 2018 menunjukkan gelombang disekitar laut lepas Kepulauan Rote berada pada tinggi sebesar 0,75 – 2,5 m dengan arah gelombang dominan dari arah barat, barat laut dan utara, sedangkan untuk tinggi gelombang maksimum yang disyaratkan agar kapal dapat bersandar dengan baik sebesar 0,5 m.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh (Maura, 2018) diketahui tinggi gelombang saat kondisi pasang purnama dan perbani tertinggi sebesar 0,72 – 0,8 m sedangkan tinggi gelombang saat kondisi pasang purnama dan perbani terendah sebesar 0,24 – 0,32 m dengan kondisi demikian, maka perlu untuk meninjau kembali atau re-design breakwater yang sudah ada agar aktivitas perairan pelabuhan dapat berjalan dengan baik. Penelitian ini menggunakan 3 modul yaitu *Hydrodynamic module* (HD) untuk mengetahui kecepatan arus, *Sand transport* (ST) untuk mengetahui sedimentasi dan *Spectral Wave* (SW) untuk mengetahui tinggi gelombang.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gelombang

Gelombang di laut bisa dibangkitkan oleh angin, pasang surut, letusan gunung api atau gempa dilaut (tsunami) kapal yang bergerak dan lainnya. Bentuk gelombang paling penting dalam perencanaan pelabuhan yaitu gelombang angin dan pasang surut. Gelombang dari laut dalam akan masuk ke pelabuhan melalui mulut pelabuhan, dalam perjalanannya masuk ke pelabuhan tinggi gelombanf berkurang secara berangsur-angur karena adanya proses difraksi gelombang (Triatmodjo, 2016). Gelombang yang ditimbulkan oleh angin mempunyai peranan dalam pergerakan sedimen di pantai (Triatmodjo, 1999).

Analisis secara umum dari Konsultan PT. Pilar Artha Nugraha serta studi yang telah dilakukan oleh Fauziyah Iga Maura terhadap PPI Tulandale menganalisis transformasi gelombang yang terjadi, maka diupayakan untuk melakukan *re-design* terhadap *breakwater* yang ada karena *breakwater* di PPI Tulandale tidak dapat meredam gelombang sehingga menyebabkan aktivitas pelabuhan terganggu. Hasil dari analisis gelombang dilihat pada saat pasang purnama tertinggi arus bergerak dari arah barat daya menuju timur laut dengan tinggi gelombang sebesar 0,72 – 0,80 m dan kondisi purnama terendah arus bergerak dari arah timur laut menuju barat daya dengan tinggi gelombang sebesar 0,24 – 0,32 m, sedangkan pada saat pasang perbani tertinggi arus bergerak dari arah barat daya menuju timur laut dengan tinggi gelombang sebesar 0,72 – 0,80 m dan kondisi perbani terendah arus bergerak dari arah timur laut menuju barat daya dengan tinggi gelombang sebesar 0,24 – 0,32 m.

2.2 Pasang Surut

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut sebagai fungsi waktu karena adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi. Massa bulan jauh lebih kecil dari massa matahari, tetapi karena jaraknya terhadap bumi jauh lebih dekat, maka pengaruh gaya tarik bulan terhadap bumi lebih besar daripada pengaruh gaya tarik matahari. Elevasi muka air tertinggi (pasang) dan terendah (surut) sangat penting

untuk merencanakan bangunan pelabuhan. Elevasi puncak bangunan pemecah gelombang ditentukan oleh elevasi muka air pasang, sementara kedalaman alur pelayaran dan perairan pelabuhan ditentukan oleh muka air surut (Triatmodjo, 2016).

Secara umum pasang surut di berbagai daerah dapat dibedakan dalam empat tipe, yaitu pasang surut harian (*diurnal tide*), harian ganda (*semi-diurnal tide*) dan dua jenis campuran.

1. Pasang surut harian ganda (*semi diurnal tide*) dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut dengan tinggi yang hampir sama dan pasang surut terjadi secara berurutan secara teratur. Periode pasang surut rata-rata adalah 12 jam 24 menit. Pasang surut jenis ini terdapat di selat Malaka sampai laut Andaman.
2. Pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*) dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut. (Periode pasang surut adalah 24 jam 50 menit. Pasang surut tipe ini terjadi di perairan selat Karimata.
3. Pasang surut campuran condong ke harian ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*) dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut tetapi tinggi dan periodenya berbeda. (Pasang surut jenis ini banyak terdapat di perairan Indonesia Timur.
4. Pasang surut campuran condong ke harian tunggal (*mixed tide prevailinf diurnal*) Tipe pasang surut ini dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut, tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda. pasang surut ini terdapat di selat Kalimantan dan pantai utara Jawa Barat.

2.3 Mike 21

1. Flow Model FM

MIKE 21 *Flow Model FM* adalah satu sistem *modeling* berbasis pada satu pendekatan *mesh flexibel* yang dikembangkan untuk aplikasi di dalam oceanografi, rekayasa pantai dan alam lingkungan muara sungai. *Flow Model FM* itu sendiri terdiri atas beberapa modul, diantaranya *Hydrodynamic Module* (HD), *Sand Transport Module* (ST), dan *Mud Transport Module*. *Hydrodynamic Module* adalah model matematik untuk menghitung perilaku hidrodinamika air terhadap berbagai macam fungsi gaya, misalnya kondisi angin tertentu dan muka air yang sudah ditentukan di *open model boundaries*. Model hidrodinamik dalam HD *module* adalah sistem model numerik umum untuk muka air dan aliran di estuari, teluk dan pantai. **Persamaan 1**, **Persamaan 2**, dan **Persamaan 3** berikut menggambarkan aliran dan perbedaan muka air:

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

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

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

dimana:

- $h[x, y, t]$: 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 [$m^3/s/m$] = (U_h, V_h) ; (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 *effective shear stress*.

Beberapa *item output* yang dihasilkan dari Modul Hydrodynamic ini adalah:

- *Surface elevation*
- *Velocity (U)*
- *Velocity (V)*
- *Current Speed*

2. *Sand Transport Module (ST)*

Sand Transport Module (ST) merupakan aplikasi model dari angkutan sedimen non kohesif. *Sand Transport Module* menghitung hasil dari pergerakan material non kohesif berdasarkan kondisi aliran di dalam modul hidrodinamik serta kondisi gelombang dari perhitungan gelombang (*spectral wave module*). Pendekatan formula yang digunakan dalam transpor sedimen di modul ini adalah Engelund-Hansen model, Van-Rijn model, Engelund-Fredsoe model, serta Meyer-Peter-Müller model. Formula yang digunakan tersebut memadukan antara pengaruh arus dan gelombang dalam pergerakan sedimen. **Persamaan 4** pengatur yang digunakan dalam modul ini adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{z(1+e^{-z})}{e^{z(z-1)+1}} \frac{1}{U_0} \frac{dU_0}{dt} + \frac{30K}{k} \frac{\sqrt{K^2 U_0^2 + z^2 U_{f0}^2} U_0 \cos \gamma}{e^{z(z-1)+1}} \quad \dots (4)$$

dimana:

- K : konstanta Van Korman,
- t : waktu [s],
- z : parameter tebal *boundary layer* [mm],
- U_0 : kecepatan orbit dasar gelombang terdekat [m/s],
- U_{f0} : kecepatan geser arus dalam lapisan batas gelombang [m/s],
- γ : sudut antara arus dan gelombang,

k : kekasaran dasar permukaan $2,5d_{50}$ untuk lapisan *plane bed*
 $2,5d_{50} + k_R$ untuk *ripple covered bed* [mm],

d_{50} : Rata-rata ukuran diameter butir [mm],

K_R : *Ripple* yang berkaitan dengan kekasaran [mm].

Beberapa item output yang dihasilkan dari Modul *Sand Transport* (ST) ini adalah:

- *SSC – Fraction 1*
- *Bed Load, x-component*
- *Bed Load, y-component*
- *Suspended Load, x-component*
- *Suspended Load, y-component*
- *Total Load, x-component*
- *Total Load, y-component*
- *Bed Level Change*

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yaitu PPI Tulandale berada di Kabupaten Rote Ndao seperti pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Lokasi PPI Tulandale
(Sumber: PT Pilar Artha Nugraha, 2017)

3.2 Set Up Model

Pada **Tabel 1** terdapat beberapa parameter untuk *hydrodynamic* dan *sand transport*, dimana parameter *mesh* and *bathymetry* diambil dari hasil pembuatan jaring-jaring pemodelan (*Mesh*). *Simulation period* merupakan lamanya simulasi yang akan dijalankan. Penelitian ini, jumlah *no. of step* yang digunakan adalah 720 karena pemodelan akan disimulasikan selama satu bulan yaitu mulai tanggal 5 Oktober 2017 sampai dengan 19 Oktober 2017 dan time step interval yaitu 3600 detik artinya simulasi dalam model dilakukan dalam interval satu jam. Kekasaran dasar atau *bed resistance* yaitu *manning* dengan nilai $32 \text{ m}^{1/3}$ yang diperoleh dari penelitian sebelumnya. Parameter *sediment properties* dan *Initial Condition* merupakan nilai *default* pada mike 21, sedangkan untuk nilai eddy viscosity dan wind forcing didapatkan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Maura, 2018). Pemodelan penelitian ini menggunakan beberapa parameter seperti pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Parameter Hydrodynamic, Sand Transport, dan Spectral Wave

Parameter	Diterapkan dalam pemodelan
<i>Mesh and Bathymetry</i>	Hasil interpolasi <i>mesh</i>
<i>Module Simulation</i>	<i>Hydrodynamic Module</i> <i>Sand Transport Module</i>
<i>Eddy Viscosity</i>	<i>Smagorinsky formulation</i> <i>Constant Value = 0,28</i>
<i>Simulation Period</i>	<i>No. of time step = 744</i> <i>Time step interval = 3600</i> <i>Simulation start date = 05/10/2017</i> <i>Simulation end date = 19/10/2017</i>
<i>Bed Resistance</i>	<i>Manning Number = 32 m^{1/3} / s</i>
<i>Wind Forcing</i>	<i>Speed = 4,65 m/s</i> <i>Direction = 250 deg</i>
<i>Sediment Properties</i>	Sedimen data format = <i>Constant</i> Grain Diameter= 0,6 mm
<i>Initial condition</i>	<i>Spectra from epirical formulas</i> <i>Jonswap fetch growth expression</i>

Parameter diatas nantinya akan digunakan pada pemodelan desain alternatif 1 dan alternatif 2, adapun penjelasan tentang desain *breakwater* Alternatif 1 dan Alternatif 2 sebagai berikut :

1. Skenario Desain Breakwater Alternatif 1

Alternatif 1 direncanakan untuk mulut pelabuhan berubah ukuran desain menjadi 50 m yang semula berukuran sebesar 116,5 m dengan mempertimbangkan alur pelayaran sehingga dapat mengoptimalkan fungsi pelabuhan dan mengurangi gangguan ketika kapal ingin bersandar.

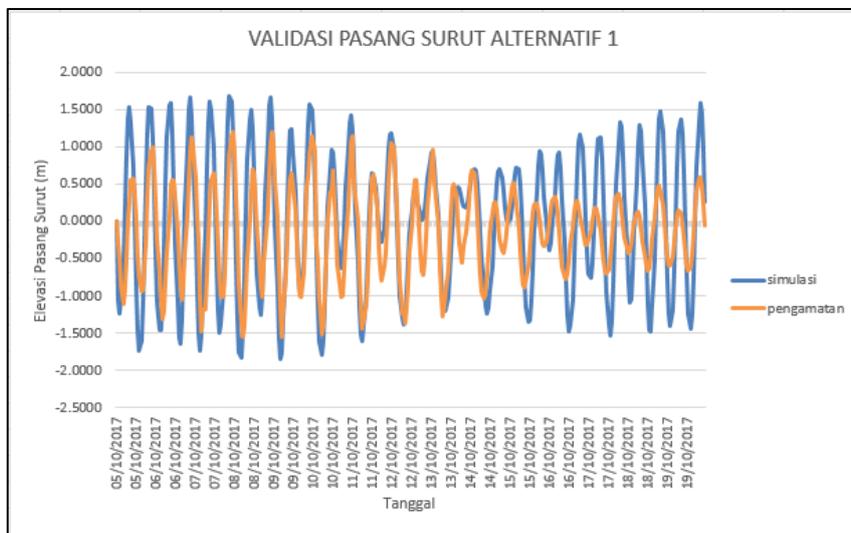
2. Skenario Desain Breakwater Alternatif 2

Alternatif 2 direncanakan bentuk bangunan *breakwater* tegak lurus garis pantai, sebelumnya perlu diketahui panjang *breakwater* yang akan dibuat salah satu cara yang dilakukan adalah dengan mengetahui lebar *soft zone* yang terjadi di PPI Tulandale. Pada penelitian ini, lebar *soft zone* dari gelombang mulai pecah ke garis pantai diasumsikan adalah ± 500 m. Panjang *groin* (L_g) adalah antar 40% sampai 60% dari lebar *soft zone*. Panjang *breakwater* yang dipakai adalah 40 % dari tersebut, yaitu 200 meter. Penentuan panjang *breakwater* pada penelitian ini desain *breakwater* punya posisi yang sama dengan perencanaan *groin* yaitu tegak lurus garis pantai.

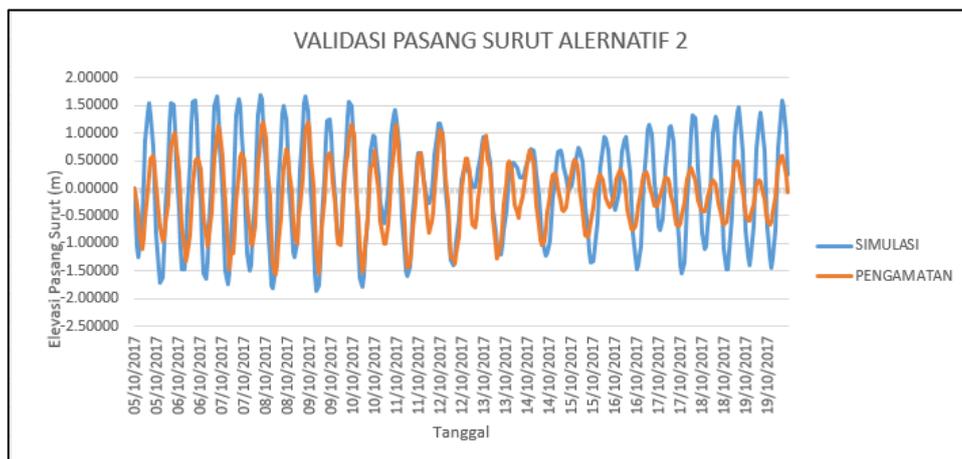
4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Validasi Pasang Surut

Gambar 2 merupakan hasil validasi pasang surut pengukuran dan pengamat pada 2 Alternatif yaitu Alternatif 1 dan Alternatif 2 seperti pada **Gambar 2** dan **Gambar 3**.



Gambar 2. Validasi elevasi muka air pada simulasi desain *breakwater* Alternatif 1

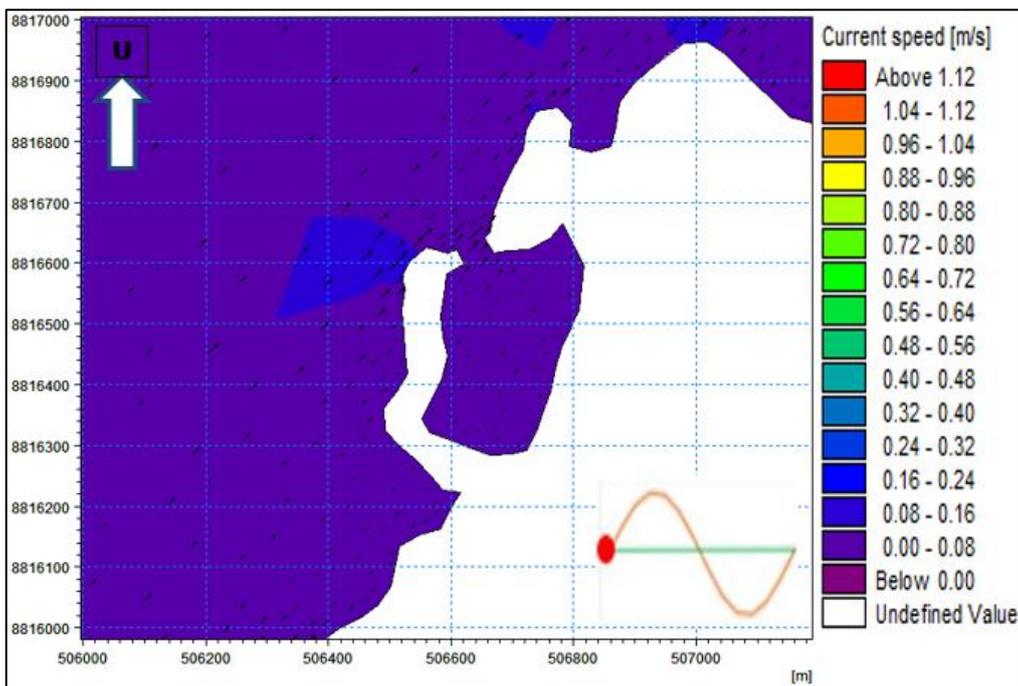


Gambar 3. Validasi elevasi muka air pada simulasi desain *breakwater* Alternatif 2

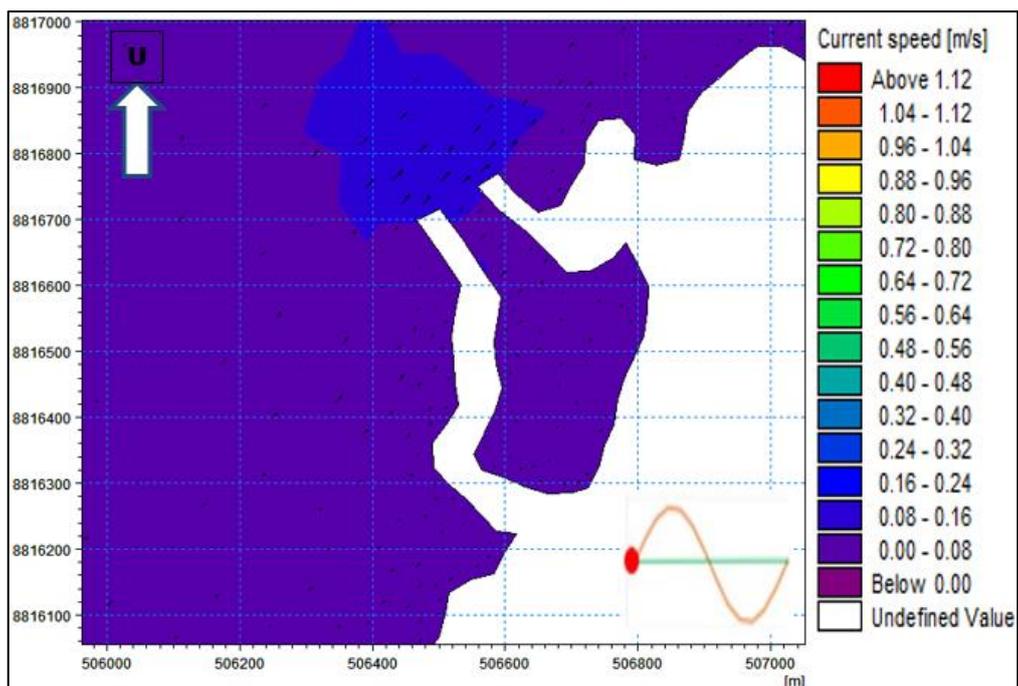
Pada **Gambar 2** dan **Gambar 3** menunjukkan bahwa grafik validasi pasang surut. Grafik warna biru adalah grafik hasil simulasi yang menunjukkan bahwa pasang surut pengamatan dan simulasi hampir sama, namun pada beberapa *time-step* masih terdapat perbedaan. Simulasi pemodelan dilakukan kalibrasi pemodelan agar mendapatkan hasil yang valid terhadap hasil pengukuran. Kalibrasi pada pemodelan ini menggunakan RSME (*Root Mean Square Error*). Nilai *manning* yang digunakan sebesar $32 \text{ m}^{1/3}$ yang memiliki nilai RSME pasang surut pada alternatif 1 sebesar $0,647296873 \text{ m/s}$ dan pada alternatif 2 sebesar $0,647305 \text{ m/s}$.

4.2 Hasil Pemodelan Hidrodinamika

Hasil pemodelan hirodinamika pada Alternatif 1 dan Alternatif 2 di sekitar PPI Tulandale dapat dilihat pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**.



Gambar 4. Kondisi arus menuju pasang pada Alternatif 1



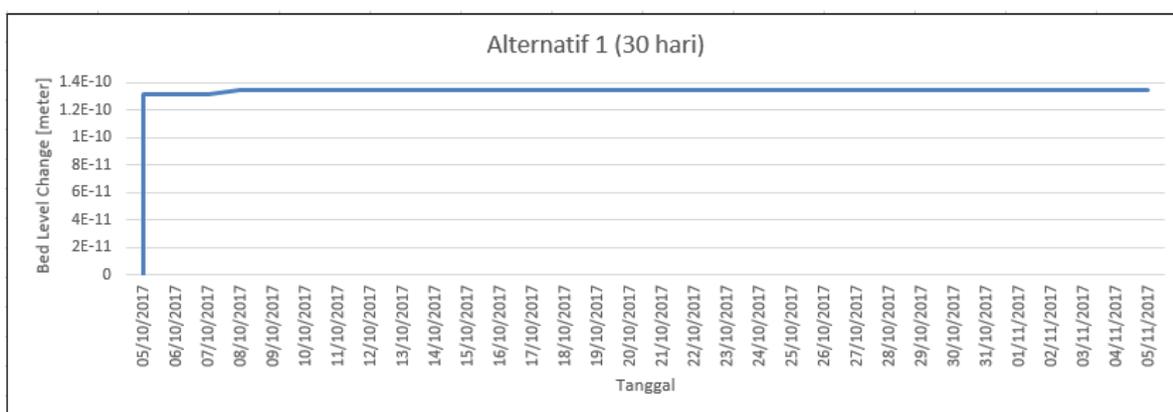
Gambar 5. Kondisi arus menuju pasang pada Alternatif 1

Pada Alternatif 1 kondisi arus saat pasang surut purnama dan perbani, arus di PPI Tulandale bergerak dari arah barat daya ke arah timur laut dengan kecepatan sebesar 0,00-0,08 m/s

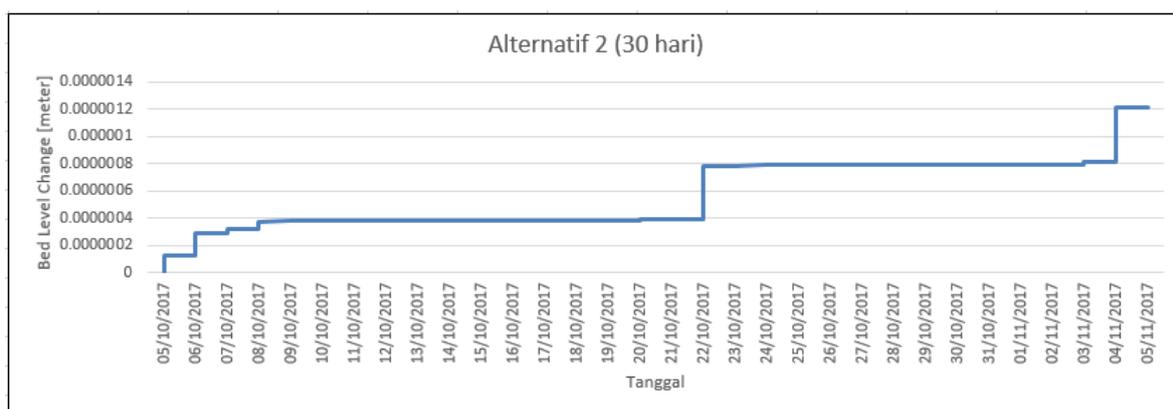
sedangkan pada Alternatif 2 arus di PPI Tulandale bergerak dari arah barat daya kearah timur laut dengan kecepatan sebesar 0,08-0,16 m/s.

4.3 Hasil Pemodelan *Sand Transport*

Analisis pemodelan *sand transport* dilakukan di sekitar area PPI Tulandale pada koordinat x : 506731 ; y : 8816441 dan waktu simulasi yang digunakan selama 1 bulan . Grain diameter yang digunakan merupakan D_{50} yaitu 0,6 mm. Berdasarkan hasil pemodelan *sand transport* ditinjau pada kondisi Alternatif 1 dan kondisi Alternatif 2 untuk melihat akan terjadi sedimentasi atau tidak di sekitar area PPI Tulandale. Hasil output dari pemodelan *sand transport* yaitu *Bed Level Change* pada kedua alternatif dapat dilihat pada **Gambar 6** dan **Gambar 7**.



Gambar 6. Perubahan dasar pada desain *breakwater* Alternatif 1

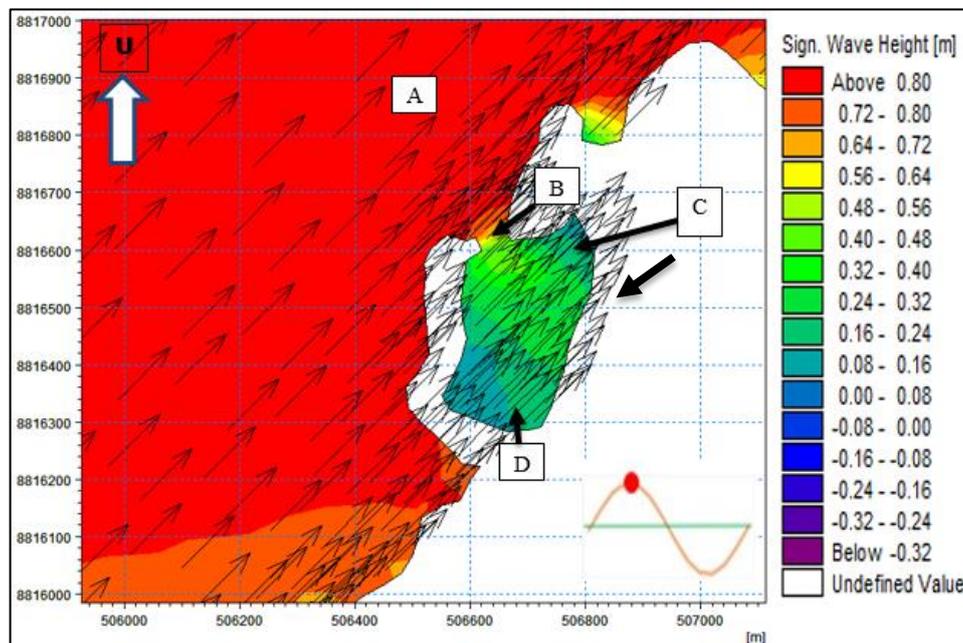


Gambar 7. Perubahan dasar pada desain *breakwater* Alternatif 2

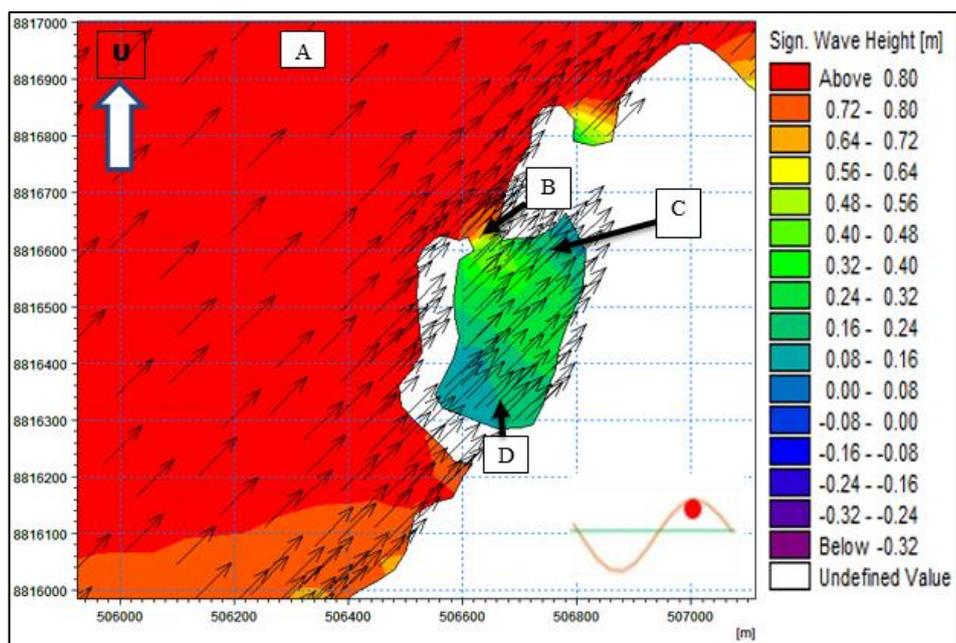
Hasil *running sand transport* selama 1 bulan dapat dilihat bahwa pada alternatif 1 maupun alterntif 2 memiliki nilai *bed level change* sangat kecil yang dimana alternatif 1 nilai *bed level change* berkisar $0 - 1,35205 \times 10^{-10}$ m sedangkan alternatif 2 nilai *bed level change* berkisar $0 - 1,21278 \times 10^{-6}$ m. Nilai *bed level change* yang dihasilkan sangat kecil dikarenakan sedimen hanya berasal dari laut dan tidak ada sungai di daerah tersebut, namun dari hasil tersebut dapat menggambarkan bahwa tidak terdapat potensi sedimentasi dan tidak terlihat sebaran sedimennya.

4.4 Hasil Pemodelan *Spectral Wave*

Penelitian ini pemodelan transformasi gelombang dilihat pada dua kondisi, yaitu pada saat kondisi pasang purnama dan kondisi pasang perbani yang terjadi pada Alternatif 1 seperti pada **Gambar 8** dan **Gambar 9**, Alternatif 2 seperti pada **Gambar 10** dan **Gambar 11**.



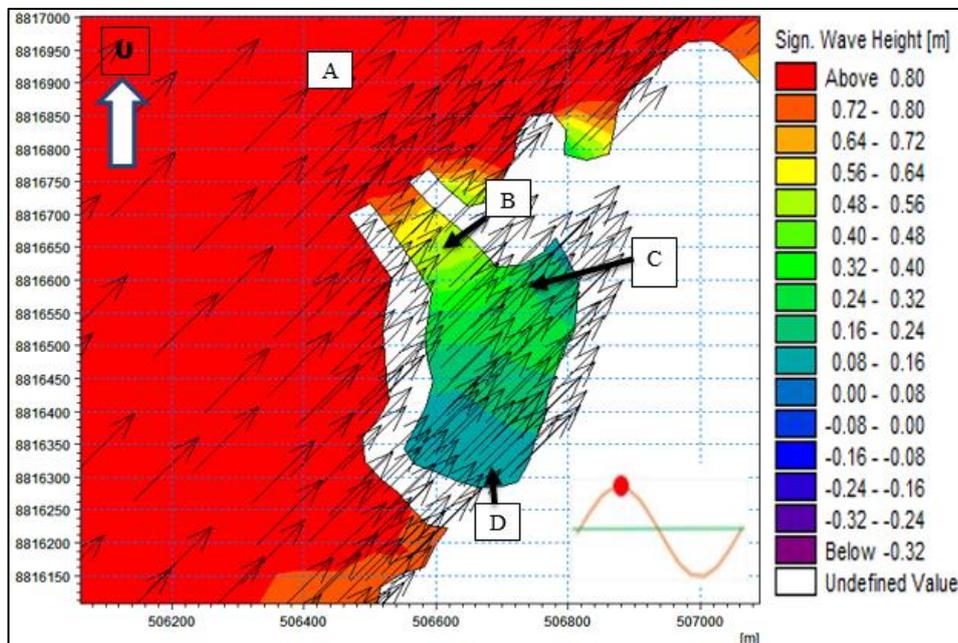
Gambar 8. Hasil pemodelan transformasi gelombang Alternatif 1



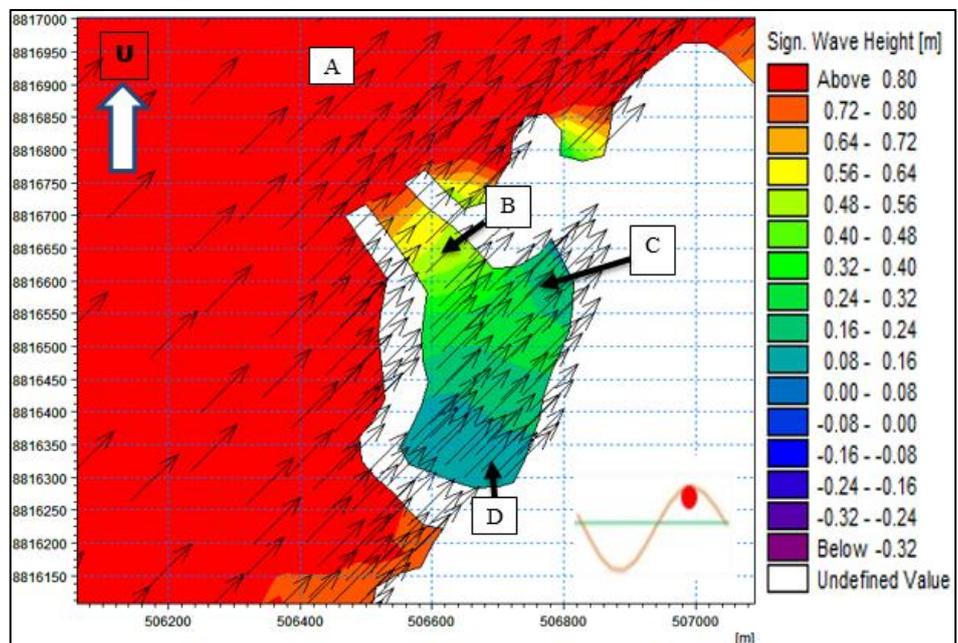
Gambar 9. Hasil pemodelan transformasi pasang tertinggi gelombang Alternatif 1 (pasang perbani)

Pemodelan *spectral wave* dilakukan pada 4 titik yaitu A (506250 : 8816890.301), B (506625 : 8816605), C (506743 : 8816585), D (506653 : 8816332) yang bertujuan untuk mengetahui perbedaan tinggi gelombang pada masing-masing titik, hal tersebut dapat digunakan untuk

memilih *redesign breakwater* yang efektif. Hasil *output* transformasi gelombang Alternatif 1 pada **Gambar 8** dan **Gambar 9** menunjukkan bahwa pada titik A memiliki tinggi gelombang sebesar 0,72 – 0,80 m, titik B memiliki tinggi gelombang sebesar 0,48 – 0,56 m, titik C memiliki tinggi gelombang sebesar 0,24 – 0,32 m dan titik D memiliki tinggi gelombang sebesar 0,08 – 0,16 m sedangkan pada Alternatif 2, dititik A memiliki tinggi gelombang sebesar 0,72 – 0,80 m, titik B memiliki tinggi gelombang sebesar 0,40 – 0,48 m, titik C memiliki tinggi gelombang sebesar 0,24 – 0,32 m dan titik D memiliki tinggi gelombang sebesar 0,08 – 0,16 m pada **Gambar 10** dan **Gambar 11**.



Gambar 10. Hasil pemodelan transformasi gelombang pasang tertinggi Alternatif 2 (pasang purnama)



Gambar 11. Hasil pemodelan transformasi gelombang pasang tertinggi Alternatif 2 (pasang perbani)

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis hidrodinamika dan sedimentasi dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kondisi arus Alternatif 1 dan Alternatif 2 pada saat pasang purnama dan pasang perbani, arus bergerak dari arah barat daya ke arah timur laut dengan kecepatan arus sebesar 0,00 – 0,08 m/s untuk Alternatif 1 dan untuk Alternatif 2 kecepatan arus sebesar 0,08 – 0,16 m/. Berdasarkan nilai kecepatan arus yang diperoleh kecil, maka dapat dikatakan bahwa alur pelayaran dan kapal – kapal yang ingin bersandar tidak terganggu.
2. Pada Alternatif 1 maupun Alternatif 2 memiliki nilai *bed level change* sangat kecil yang dimana Alternatif 1 nilai *bed level change* berkisar $0 - 1,35205 \times 10^{-10}$ m sedangkan Alternatif 2 nilai *bed level change* berkisar $0 - 1,21278 \times 10^{-6}$ m. Nilai *bed level change* yang dihasilkan sangat kecil dikarenakan sedimen hanya berasal dari laut dan tidak ada sungai di daerah tersebut, namun dari hasil tersebut dapat menggambarkan bahwa tidak terdapat potensi sedimentasi dan tidak terlihat sebaran sedimennya.
3. Berdasarkan hasil pemodelan transformasi gelombang, tinggi gelombang pada Alternatif 1 dan Alternatif 2 di dalam kolam pelabuhan saat kondisi angin dominan lebih kecil dari tinggi gelombang di luar kolam pelabuhan dan memenuhi dengan syarat tinggi gelombang di pelabuhan yaitu 0,50 m.
4. Bentuk *re-design breakwater* yang digunakan yaitu bentuk *re-design breakwater* pada alternatif 2 karena dapat mereduksi gelombang lebih besar dari pada Alternatif 1. Gelombang yang tereduksi pada Alternatif 2 sebesar 46,7 % dari tinggi gelombang yang ada di luar breakwater. Bentuk *re-design breakwater* Alternatif 2 dengan menambahkan bangunan *breakwater* 200 m tegak lurus garis pantai.
5. Kondisi arus Alternatif 1 dan Alternatif 2 pada saat pasang purnama dan pasang perbani, arus bergerak dari arah barat daya ke arah timur laut dengan kecepatan arus sebesar 0,00–0,08 m/s untuk Alternatif 1 dan Alternatif 2 kecepatan arus sebesar 0,08–0,16 m/s.

DAFTAR RUJUKAN

- Maura, F. i. (2018). *Analisis Transformasi Gelombang Bagi Pertimbangan Re-design Breakwater di Pangkalan Ikan Tulandale, Nusa Tenggara Timur*. Tugas Akhir. Bandung: Departemen Teknik Sipil. Institut Teknologi Nasional.
- Triatmodjo, B. (1999). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Triatmodjo, B. (2016). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.
- PT. Pilar Artha Nugraha. (2017). *Laporan Akhir Pembangunan PPI Tulandale*. Jakarta