

## **ANALISI KETIDAKSIMETRISAN PASANG SURUT AKIBAT PENGARUH MORFOLOGI DI TELUK KENDARI**

### ***STUDY OF TIDAL ASYMMETRY AS THE MORFOLOGICAL EFFECT IN KENDARI COASTAL BAY***

**Iska Putra<sup>1</sup>, Dadang Kurnia Mihardja<sup>2</sup>, Trismadi<sup>3</sup>, Widodo Setiyo Pranowo<sup>4</sup>,  
Rudi Lazuardi<sup>1</sup>, Pebrianto Eko Nugroho<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Sekolah Staf dan Komando TNI Angkatan Laut,

<sup>2</sup>Program Studi Sains Kebumihan, Institut Teknologi Bandung,

<sup>3</sup>Mabes TNI-AL,

<sup>4</sup>Pusat Riset Kelautan, Kementerian Kelautan dan Perikanan

E-mail: [iputra.tan.99@gmail.com](mailto:iputra.tan.99@gmail.com)

#### **ABSTRAK**

Teluk Kendari memiliki bentuk atau morfologi yang berbeda dari kebanyakan teluk yang ada. Morfologi Teluk Kendari tergolong unik, mulut teluk menyerupai kanal yang relatif sempit. Sedangkan pada sisi teluk bagian dalam, memiliki area yang meluas, atau dapat dikatakan Teluk Kendari menyerupai mulut botol. Bentuk teluk tersebut akan berpengaruh terhadap dinamika pasang surut. Penelitian ini menggunakan simulasi model hidrodinamika pasang surut (pasut) di perairan Teluk Kendari dengan menggunakan Mike – 21 dengan tujuan menentukan pengaruh ketidaksimetrian pasang surut di perairan tersebut. Hasil simulasi telah diverifikasi dengan data pengukuran lapangan dari Pushidrosal. Simulasi didasarkan pada perubahan morfologi, sedangkan batimetri yang digunakan sebagai input adalah kondisi alami di teluk. Hasil simulasi model menunjukkan kesesuaian yang baik dengan data lapangan, dimana koefisien korelasi dan selisih rata – rata kuadratnya adalah masing – masing 0,88 dan 2 cm (elevasi) serta 0,6 dan 0,6 cm/s (arus). Simulasi memperlihatkan bahwa variasi batimetri terhadap elevasi pengaruhnya kecil, sedangkan terhadap arus cukup besar. Pola arus saat fasa menuju pasang dan pasang maksimum bergerak dari mulut teluk menuju hulu dengan kecepatan rata - rata 24,32 dan 7,68 cm/s. Sebaliknya, saat menuju surut dan surut minimum arus bergerak dari hulu ke mulut teluk dengan kecepatan rata - rata 24,24 dan 11,07 cm/s. Variasi batimetri terhadap ketidaksimetrian pasut (*tidal asymmetry*) di Teluk Kendari terlihat pengaruhnya dengan jelas dimana lamanya surut lebih pendek dari pada pasangannya kecuali di hulu.

Kata kunci : simulasi numerik pasang surut, Teluk Kendari, variasi batimetri, ketidaksimetrian.

## ABSTRACT

*Kendari Coastal Bay has a different shape or morphology from other bays. The morphology of that bay is unique, the mouth of the bay resembles a narrow canal. Meanwhile, on the inner side of the bay, it has an expanded area, or it can be said that Kendari Bay is like a bottle mouth. The shape of the bay will affect the tidal dynamics. This study used a tidal hydrodynamic model simulation in the waters of Kendari Coastal Bay using Mike-21 with the aim was to determine the effect of tidal asymmetry in these waters. The simulation results had been verified with data of field measurement from Pushidrosal. The simulation was based on morphological changes, while the bathymetry input used was the natural conditions in the bay. The model simulation results showed a good agreement with the field data, where the correlation coefficient and the difference in mean squares are 0.88 and 2 cm (elevation) and 0.6 and 0.6 cm / s (current), respectively. The simulation showed that the bathymetry variation has a small effect on elevation, while on the current it is quite large. The current pattern during the phase tend to flood and maximum tide moved from the mouth to the upstream of the bay with velocities average were 24.32 and 7.68 cm/s. On the other hand, while tend to ebb and low tide the current moved from upstream to the mouth of the bay with average velocities of 24.24 and 11.07 cm/s. The variation of bathymetry on tidal asymmetry in Kendari Coastal Bay had a clear effect where the ebb duration was shorter than flood except in the upstream.*

*Key words: tidal numerical simulation, Kendari Coastal Bay, bathymetry variation, asymmetry.*

## PENDAHULUAN

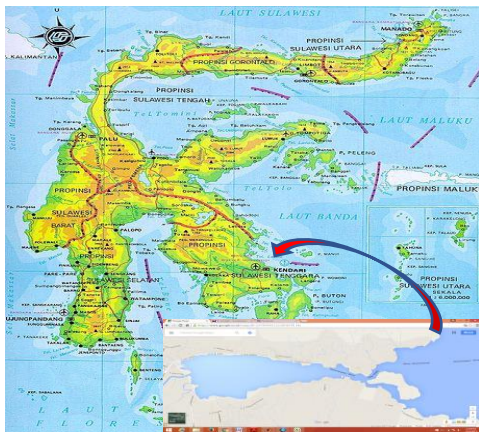
Teluk Kendari terletak di Sulawesi Tenggara dengan koordinat geografis 122° 31' 48" s/d 122° 38' 27,6" BT dan 3° 56' 6" s/d 4° 0' 21,6" LS seperti di tampilkan dalam Gambar 1. Di Teluk Kendari terdapat pelabuhan nasional yang merupakan jaringan transportasi laut nasional. Untuk pengembangan sarana transportasi laut, diperlukan kajian tentang keadaan oseanografi di Teluk Kendari, dengan informasi dasar oseanografi yang penting adalah kondisi pasang surut (pasut).

Morfologi dan batimetri Teluk Kendari sangat kompleks, dimana area di mulut teluk relatif luas dan dalam, sedangkan di

bagian tengah terdapat penyempitan. Pada bagian dalam (hulu) teluk relatif luas dengan batimetri yang dangkal. Kondisi ini akan berpengaruh terhadap dinamika pasut seperti besarnya elevasi, arus dan ketidaksimetrian pasut (*tidal asymmetry*) yaitu perbedaan lamanya waktu pasang dan waktu surut (Nidzieko, 2010) di perairan tersebut.

Kesimpulan dari kajian pasut di Teluk Kendari yang telah dilakukan sebelumnya menyatakan bahwa pasut di Teluk Kendari merupakan campuran condong harian ganda (Suprapti, 2015 dan Pushidrosal, 2013) dengan kecepatan arus pasut berkisar antara 0,001 – 0,25 m/s (Pushidrosal, 2013). Hal tersebut didukung oleh Wyrтки (1961) dan Ray *et al.*

(2005) yang menunjukkan bahwa tipe pasut di Kepulauan Indonesia bagian timur yang mempengaruhi pasut di Teluk Kendari adalah dominan pasut campuran condong harian ganda. Sedangkan kajian tentang pengaruh batimetri dan morfologi teluk terhadap dinamika pasut belum pernah dilakukan sebelumnya.



**Gambar 1.** Peta Teluk Kendari (Sumber: <https://id.wikipedia.org/>).

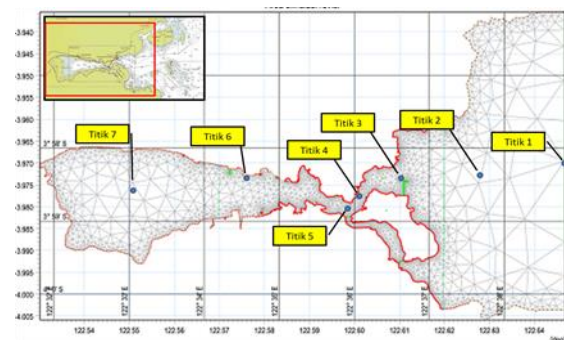
## BAHAN DAN METODE

### Desain dan Skenario Model

Metode utama yang digunakan adalah metoda numerik dengan memakai software *Mike 21 Flow Model* dari *DHI Water & Environment* (2007). Hasil simulasi model di analisis secara kuantitatif dengan metoda statistik dan analisis secara kualitatif pada pola arus dengan membandingkan hasil simulasi berbagai skenario model.

Daerah model terletak pada posisi  $122^{\circ} 31' 48'' - 122^{\circ} 38' 27,6''$  BT dan  $3^{\circ} 56' 6'' - 4^{\circ} 0' 21,6''$  LS (Gambar 2). Grid yang digunakan adalah *unstructured mesh* yang dihasilkan oleh *Mesh Generator* dalam *Mike Zero* (Gambar 2). Jarak antar node bervariasi, yaitu 10 m di

daerah sempit dan 100 m di daerah yang relatif lebih luas. Input model di batas terbuka (titik 1) adalah elevasi titik (*point series*) yang diperoleh dari prediksi pasut dalam software *Mike 21* dari tanggal 9 November sampai 12 Desember 2013 yang disesuaikan dengan waktu pengukuran yang dilakukan Pushidrosal (2013) agar hasil simulasinya bisa diverifikasi. Disamping sebagai lokasi input pasut, titik 1 juga digunakan sebagai titik analisis arus termasuk titik 2, 5, dan 7 (elevasi dan arus). Sementara titik – titik verifikasi, yang menjadi pembanding terhadap data hasil model ditunjukkan oleh titik 3, 4, dan 6. Lokasi analisis dan verifikasi sebagaimana terlihat pada Gambar 2. Parameter input lainnya yang digunakan dalam simulasi dapat dilihat pada tabel 1.



**Gambar 2.** Diskritisasi area, grid model serta lokasi titik verifikasi dan analisis.

Simulasi model dilakukan dengan waktu simulasi selama 29 hari sesuai dengan data pengukuran lapangan dari Pushidrosal (2013).

Tabel 1. Parameter dan input simulasi model

Parameter	Nilai
Waktu simulasi (t)	9 – 11 – 2013 00:00 s/d 12 – 12 – 2013 00:00
Langkah waktu ( $\Delta t$ ),	2 detik
Kriteria stabilitas CFL	0,8
Kondisi basah dan kering ( <i>flood and dry</i> )	Kedalaman kering ( <i>drying depth</i> ) = 0.005 m, Kedalaman pasang ( <i>flooding depth</i> ) = 0,05 m, Kedalaman basah ( <i>wetting depth</i> ) = 0,1 m
Viskositas Eddy ( $\eta$ )	(0,002 m <sup>2</sup> /s)
Bilangan Manning (C)	(20 m <sup>1/3</sup> /s)
Kondisi awal	Elevasi = 0 m, kecepatan, u = 0 m/s, v = 0 m/s

#### Persamaan model

Model hidrodinamika dalam MIKE 21 adalah model yang dapat mensimulasikan muka air dan arus di suatu perairan laut berdasarkan prinsip kekekalan massa dan momentum yang dinyatakan dalam persamaan kontinuitas dan momentum.

#### Persamaan kontinuitas

Persamaan kontinuitas diturunkan dari prinsip kekekalan massa. Persamaan tersebut dalam dua dimensi (2D) horizontal dalam arah sumbu x dan y dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

Dengan  $\zeta(x, y, t)$  merupakan elevasi (m),  $x, y$  adalah koordinat ruang (m). Sedangkan  $p, q(x, y, t)$  merupakan fluks massa dalam arah x dan y per satuan lebar (m<sup>2</sup>/s); ( $p = uh, q = vh$ ), ( $u, v$ ) adalah kecepatan yang dirata – ratakan terhadap kedalaman dalam arah x dan y (m/s) dan  $t$  adalah waktu (s).

#### Persamaan kekekalan momentum

Persamaan kekekalan momentum yang dipakai pada simulasi model terdiri dari suku perubahan momentum terhadap waktu, perubahan momentum secara konvektif, gradien tekanan, gesekan dasar, dan gesekan turbulensi.

#### Persamaan kekekalan momentum arah - x:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( E \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( E \frac{\partial p}{\partial y} \right) \right] = 0 \quad (2)$$

#### Persamaan kekekalan momentum arah - y:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gq\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \left[ \frac{\partial}{\partial y} \left( E \frac{\partial q}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( E \frac{\partial q}{\partial x} \right) \right] = 0 \quad (3)$$

dengan  $C(x, y)$  adalah koefisien gesekan Chezy ( $m^{1/2}/s$ ); ( $C = M.h^{*1/6}$ ),  $h(x, y, t)$  merupakan kedalaman air (m), ( $h = \zeta + d$ );  $g$  adalah kecepatan gravitasi ( $m/s^2$ ), dan  $E$  adalah koefisien viskositas eddy ( $m^2/s$ ).

#### Ketidaksimetrian Pasut (tidal asymmetry)

Ketidaksimetrian pasut terjadi ketika kombinasi beberapa komponen pasut menghasilkan perbedaan lamanya waktu pasang dan surut, sebagai akibat dari ketidaksamaan magnitudo arus pasut ketika elevasi dan arus berbeda fasa sebesar  $90^\circ$  (*quadrature*) (Boon & Byrne, 1981, dalam Nidzieko, 2010). Ketidaksimetrian pasut juga dihasilkan akibat interaksi antara komponen – komponen pasut diurnal dan semidiurnal terutama K1, O1, dan M2 (Nidzieko, 2010). Perhitungan Ketidaksimetrian pasut dihitung menggunakan rumus:

$$\gamma_1 \equiv \frac{H_3}{\sigma^3} = \frac{\frac{1}{\tau-1} \sum_{t=1}^{\tau} (\zeta'_t - \bar{\zeta}')^3}{\left[ \frac{1}{\tau-1} \sum_{t=1}^{\tau} (\zeta'_t - \bar{\zeta}')^2 \right]^{3/2}} \quad (4)$$

Dengan  $\zeta' = \partial \zeta / \partial t$ ; dan  $\tau$  = jumlah data pengukuran. Untuk  $\gamma_1 < 0$ , menunjukkan bahwa lamanya surut (sesaat setelah pasang maksimum sampai surut minimum) lebih pendek dari pasang (sesaat setelah surut minimum sampai pasang maksimum), sedangkan  $\gamma_1 > 0$  berarti lamanya surut lebih panjang dari pasang. Jika elevasi dan komponen kecepatan berbeda fasa  $90^\circ$  (*quadrature*), maka ketidaksimetrian pasut disebut juga ketidaksimetrian arus (Nidzieko, 2010, dalam, Ferrarin, dkk, 2015). Jika  $\gamma_1 > 0$

disebut *flood dominance*, yaitu arus saat pasang lebih besar dari surut, sedangkan jika  $\gamma_1 < 0$  adalah *ebb dominance*, yaitu arus saat surut lebih besar dari pasang (Ferrarin, 2015).

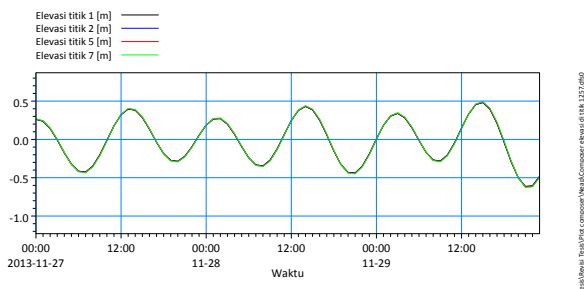
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pola Pasang Surut di Teluk Kendari

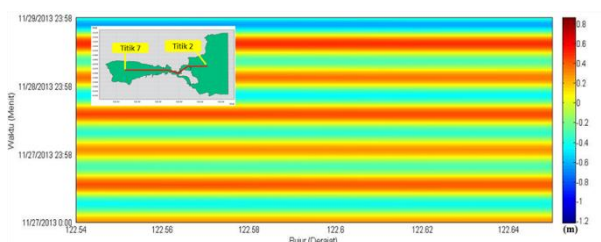
Pola pasang surut yang dianalisis meliputi elevasi dan arus dari hasil simulasi model selama 1 bulan, mulai tanggal 12 November sampai 11 Desember 2013. Pada kondisi pasang perbani dan saat menuju pasang, penjalaran gelombang pasut datang dari batas terbuka dengan elevasi minimum -21,92 cm dan maksimum 26,58 cm. Pada saat melewati mulut teluk, nilai elevasi tidak mengalami perubahan signifikan, yang mana besarnya adalah minimum -21,93 cm dan maksimum 26,61 cm. Sedangkan ketika melalui daerah tengah yang menyempit, nilai elevasi mengalami sedikit kenaikan lebih kurang 1 cm, yaitu minimum -22,32 cm dan maksimum 26,91 cm. Akhirnya pada saat gelombang pasut sampai di hulu dengan besarnya elevasi minimum -22,76 cm dan maksimum 27,29 cm.

Saat pasang maksimum, elevasi juga berada pada kondisi nilai maksimum yang mana nilai terbesar terdapat di hulu yaitu sebesar 29,43 cm, karena kondisi batimetrinya yang relatif lebih dangkal. Sedangkan pada batas terbuka sebesar 28,55 cm, di tengah dan mulut teluk masing – masing sebesar 28,95 cm dan 28,57 cm. Saat menuju surut pergerakan pasut menuju ke Barat, yang mana daerah di sekitar batas terbuka dan mulut teluk

mengalami surut terlebih dahulu kemudian diikuti bagian hulu. Elevasi minimum dan maksimum di batas terbuka adalah -33,25 dan 19,91 cm, di mulut teluk -33,28 cm dan 19,92 cm, di tengah -33,61 cm dan 20,29 cm, serta di hulu -34,03 cm dan 20,77 cm. Saat surut minimum besarnya elevasi di batas terbuka sebesar -28,55 cm, di mulut teluk -28,57 cm, di tengah -28,95 cm, dan di hulu -29,43 cm. Karakteristik elevasi pada kondisi pasang perbani ditunjukkan oleh grafik timeseries (Gambar 3) dan diagram Hovmueller (Gambar 4).



**Gambar 3.** Deret waktu elevasi saat pasang surut perbani (*neap tide*) di batas terbuka (titik 1), mulut teluk (titik 2), tengah (titik 5), dan hulu (titik 7).



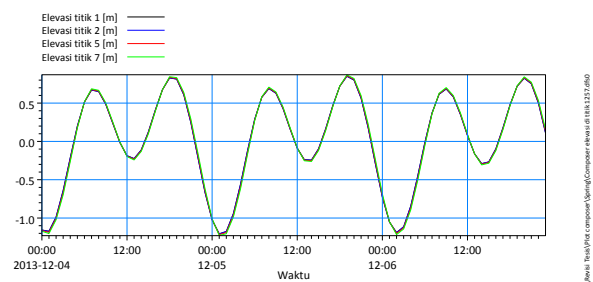
**Gambar 4.** Diagram Hovmuller elevasi saat pasang surut (pasut) perbani (*neap tide*).

Dari Gambar 3 terlihat variasi elevasi di seluruh perairan Teluk Kendari mulai dari batas terbuka sampai hulu. Besarnya elevasi pada masing – masing lokasi relatif sama (perbedaan kecil) walaupun

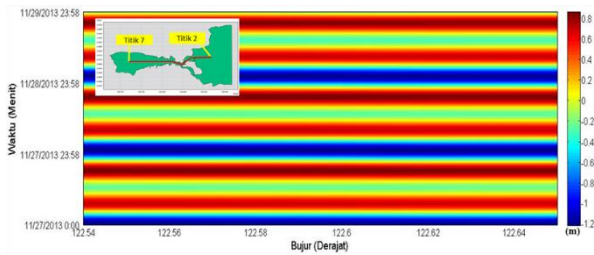
memiliki batimetri yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan batimetri tidak mempengaruhi perubahan elevasi secara signifikan.

Pada kondisi pasang purnama, pola elevasi sama dengan perbani namun berbeda dalam magnitudonya. Saat menuju pasang nilai elevasi minimum dan maksimum di batas terbuka -117,53 dan 69,05 cm, di mulut teluk sebesar -117,59 dan 69,12 cm, di tengah -118,96 dan 69,87 cm serta di hulu -120,5 dan 70,84 cm. Saat pasang maksimum, besarnya elevasi di batas terbuka 85,02 cm, mulut teluk 85,09 cm, di tengah 85,80 cm, dan di hulu 86,73 cm.

Saat menuju surut besarnya elevasi minimum dan maksimum di batas terbuka adalah -102,35 dan 81,33 cm, di mulut teluk -102,41 cm dan 81,39 cm, di tengah -101,77 cm dan 82,2 cm, dan di hulu -100,95 cm dan 83,24 cm. Saat surut minimum, tinggi permukaan air di batas terbuka 120,59 cm, di mulut teluk -120,66 cm, di tengah sebesar -121,63 cm, dan di hulu -122,82 cm. Karakteristik elevasi pada kondisi pasang purnama ditunjukkan oleh grafik timeseries (Gambar 5) dan diagram Hovmueller (Gambar 6).

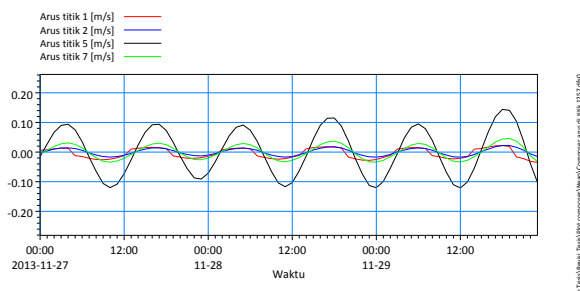


**Gambar 5.** Deret waktu elevasi saat pasang surut purnama (*spring tide*) di batas terbuka (titik 1), mulut teluk (titik 2), tengah (titik 5), dan hulu (titik 7).

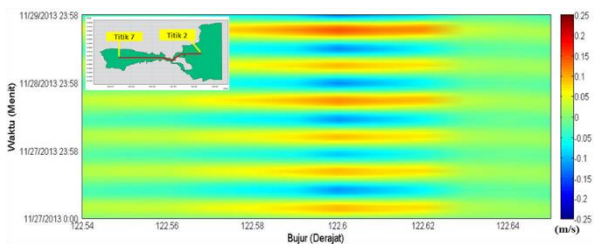


**Gambar 6.** Diagram Hovmuller elevasi saat pasang surut (pasut) purnama (*spring tide*).

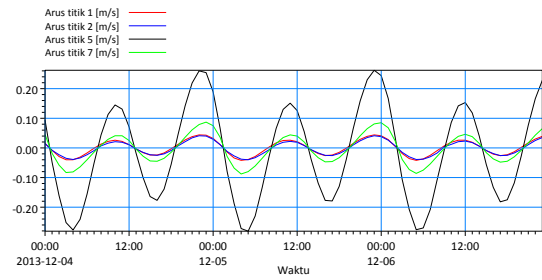
Perbedaan waktu pasang baik maksimum maupun minimum antara hulu dan mulut teluk, yang diperoleh melalui hasil perhitungan kecepatan penjalaran gelombang, menggunakan informasi kedalaman rata – rata serta panjang teluk. Beda waktu pasang dan surut antara hulu dan mulut teluk adalah antara 2 – 10 menit.



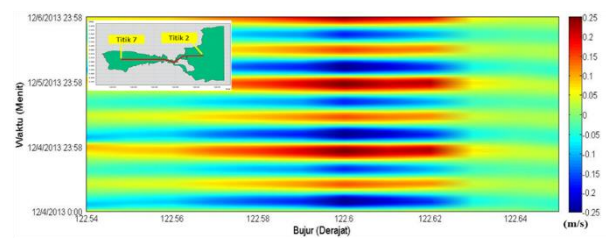
**Gambar 7.** Deret waktu arus saat pasang surut perbani (*neap tide*) di batas terbuka (titik 1), mulut teluk (titik 2), tengah (titik 5), dan hulu (titik 7).



**Gambar 8.** Diagram Hovmuller arus (u) saat pasang surut (pasut) perbani (*neap tide*).



**Gambar 9.** Deret waktu arus saat pasang surut purnama (*spring tide*) di batas terbuka (titik 1), mulut teluk (titik 2), tengah (titik 5), dan hulu (titik 7).

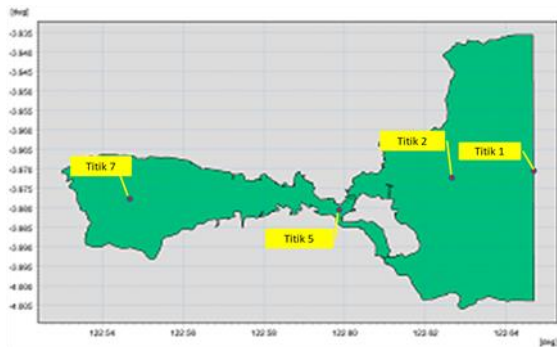


**Gambar 10.** Diagram Hovmuller arus (u) saat pasang surut (pasut) purnama (*spring tide*).

### Analisis Elevasi Dan Arus

Teluk Kendari relatif kompleks, baik morfologi maupun kedalaman perairannya (batimetri). Panjang teluk ± 13 km dengan lebar bervariasi, yang mana di mulut teluk ± 7 km, kemudian terdapat penyempitan di tengah dengan lebar antara 0,3 dan 0,4 km, sedangkan area bagian dalam yang menuju daratan memiliki lebar ± 2,6 km. Demikian juga dengan batimetri, terdapat variabilitas kedalaman mulai dari mulut sampai ke dalam teluk. Kondisi ini akan menghasilkan kecepatan arus yang berbeda secara spasial, pada lokasi yang dangkal akan terjadi kecepatan arus yang relatif lebih besar dibandingkan dengan lokasi yang lebih dalam. Dalam kajian ini akan dilihat bagaimana distribusi elevasi dan arus di seluruh perairan Teluk Kendari. Untuk tinjauan ini akan dilihat

melalui perbandingan di beberapa lokasi yang akan dianalisis (Gambar 11), yang mana area di dalam teluk (hulu/titik 7) dijadikan sebagai pembanding.

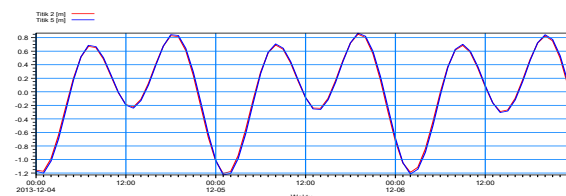


**Gambar 11.** Lokasi titik – titik analisis perbandingan elevasi dan arus di Teluk Kendari.

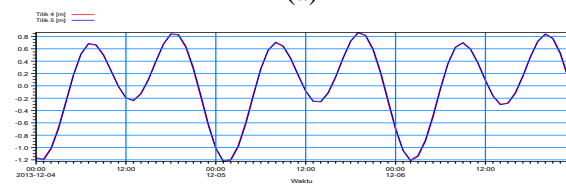
**Tabel 2.** Magnitudo arus pada lokasi dan kondisi berbeda

Lokasi/Kondisi	Kecepatan arus (cm/s)		
	max	min	rata2
Batas terbuka (t1)			
-Menuju surut	3,44	1,31	2,60
-Surut minimum	2,52	-	-
-Menuju pasang	5,74	2,52	4,25
-Pasang maksimum	1,40	-	-
Mulut teluk (t2)			
-Menuju surut	4,07	0,73	2,61
-Surut minimum	1,12	-	-
-Menuju pasang	3,96	0,64	2,51
-Pasang maksimum	0,68	-	-
Tengah teluk (t5)			
-Menuju surut	26,01	4,55	16,81
-Surut minimum	6,63	-	-
-Menuju pasang	28,05	2,76	17,31
-Pasang maksimum	3,99	-	-
Hulu /Dalam teluk (t7)			
-Menuju surut	8,68	0,95	5,47
-Surut minimum	3,59	-	-
-Menuju pasang	8,79	0,83	5,26
-Pasang maksimum	1,13	-	-

Dari hasil simulasi model diperoleh bahwa tidak ada perbedaan elevasi secara signifikan antar lokasi di seluruh Teluk Kendari, yang dapat dilihat dari selisih rata – ratanya. Perbandingan antara elevasi di mulut teluk/titik 2 (kedalaman 298,3 cm) dengan di hulu (kedalaman 44,1 cm) adalah sebesar 0,13 cm serta selisih waktu penjalaran gelombang antara 2 – 10 menit. Sementara di tengah teluk/titik 5 dengan kedalaman 215,6 cm memiliki selisih sebesar 0,04 cm (Gambar 12).



(a)

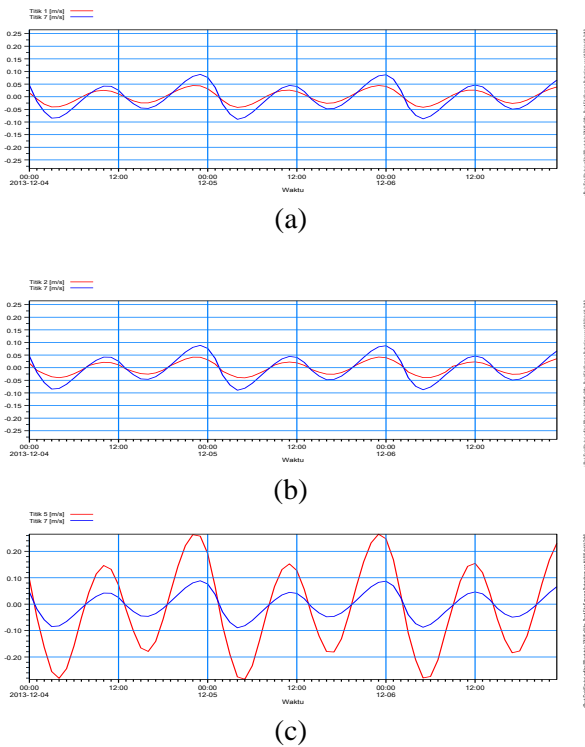


(b)

**Gambar 12.** Perbandingan elevasi di Teluk Kendari antara hulu dengan; (a) mulut teluk dan (b) tengah teluk.

Magnitudo arus di perairan Teluk Kendari bervariasi berdasarkan kedalaman dan morfologi. Di area bagian tengah merupakan daerah dengan arus paling besar, yang mana selisih rata – rata terhadap area dalam teluk sebesar 9,82 cm/s (Gambar 13c). Besarnya arus di daerah tersebut disebabkan adanya penyempitan walaupun batimetrinya lebih besar dari area di dalam teluk.





(a)

(b)

(c)

**Gambar 13.** Perbandingan arus antar lokasi di Teluk Kendari pada batimetri alami antara hulu dengan: (a) batas terbuka, (b) mulut teluk, dan (c) tengah teluk.

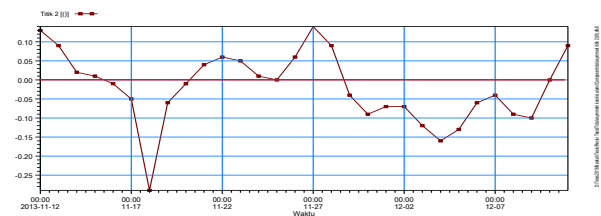
Selisih arus rata – rata yang paling kecil di seluruh teluk adalah antara batas terbuka dengan bagian dalam, yaitu sebesar 1,25 cm/s. Sementara hasil perbandingan lokasi lainnya, seperti di mulut teluk memiliki selisih kecepatan arus sebesar 2,08 cm/s.

Secara umum dari hasil simulasi hidrodinamika pasut dan arus pasut di Teluk Kendari dapat disimpulkan, bahwa tidak terdapat perbedaan elevasi secara signifikan antar area di seluruh perairan. Sementara perubahan batimetri sangat berpengaruh terhadap perubahan arus.

## Pengaruh Batimetri Terhadap Ketidak-simetri Pasang Surut (Tidal Asymmetry)

### Analisis Ketidaksimetrian Pasut Pada Batimetri Alami

Ketidaksimetrian pasut berperan dalam mengatur stabilitas perairan dalam hubungannya dengan transpor sedimen dan perubahan morfologi dalam jangka panjang di daerah teluk atau estuari (Dronkers, 1986, dalam Nidzieko, 2010), dan juga tinjauan berdasarkan perbedaan antara lamanya waktu pasang dan waktu surut serta kecepatan puncak (*velocity skew*) (Nidzieko & Ralston, 2012, dalam Ferrarin, *et al.*, 2015). Besarnya nilai asimetri dapat dihitung menggunakan persamaan 4. Asimetri pasut di Teluk Kendari dianalisis adalah titik (lokasi) mulut teluk dengan hulu.

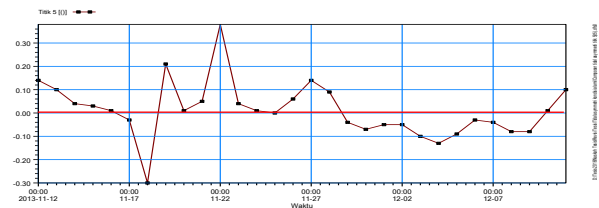


**Gambar 14.** Grafik asimetri pasut di mulut teluk.

Gambar 14 menunjukkan distribusi ketidak-simetri pasut di mulut teluk selama periode simulasi (1 bulan). Nilai ketidak-simetri positif berarti bahwa lamanya (durasi) pasang lebih pendek dari surut, sebaliknya nilai negatif mengindikasikan durasi pasang lebih panjang dari surut. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai rata – rata  $\gamma_1$  selama 1 bulan di mulut teluk sebesar -0,02, yang berarti bahwa lamanya surut lebih pendek

dari pasang tapi arus pasang (1,55 cm/s) lebih besar dari surut (1,49 cm/s) atau *flood dominance*. Dari Gambar 14 terlihat beberapa ketidaksimetrian harian yang menonjol diantaranya tanggal 12, 18, 27 November serta 4 dan 11 Desember 2013. Nilai ketidaksimetrian pada tanggal 12 November sebesar  $\gamma_1 = 0,13$ , yaitu lamanya pasang (11,3 jam) lebih pendek dari surut (12,7 jam) terjadi pada saat pasang maksimum perbani dan arus pasang (1,47 cm/s) lebih besar dari surut (1,35 cm/s) sehingga terjadi *flood dominance* ( $\gamma_1 > 0$ ). Tanggal 18 November, ketidaksimetrian harian sebesar  $\gamma_1 = -0,29$  yang menunjukkan bahwa lamanya pasang (12,5 jam) lebih panjang dari surut (11,5 jam) terjadi pada saat pasang minimum purnama namun arus pasang (1,83 cm/s) lebih besar dari surut (1,79 cm/s) sehingga terjadi *flood dominance* ( $\gamma_1 < 0$ ). Tanggal 27 November ( $\gamma_1 = 0,14$ ) berarti bahwa lamanya pasang (11,2 jam) lebih pendek dari surut (12,8 jam) terjadi pada saat pasang maksimum perbani dan arus pasang (0,98 cm/s) lebih besar dari surut (0,87 cm/s). Tanggal 4 Desember 2013 lamanya pasang lebih lama (12,5 jam) dari surut (11,5 jam) dengan nilai ketidaksimetrian ( $\gamma_1 = -0,16$ ) namun arus pasang (2,02 cm/s) lebih besar dari arus surut (1,99 cm/s). Sedangkan tanggal 11 Desember 2013 lamanya pasang (11,3 jam) lebih pendek dari surut (12,7 jam) dengan nilai asimetri ( $\gamma_1 = 0,09$ ) dan arus pasang (1,52 cm/s) lebih besar dari surut (1,45 cm/s, *flood dominance*).

Di bagian hulu Teluk Kendari, nilai rata – rata ketidaksimetrian pasut selama 1 bulan (Gambar 15) adalah sebesar ( $\gamma_1 = 0,01$ ). Hal ini menunjukkan bahwa lamanya pasang lebih pendek dari surut namun arus surut (3,18 cm/s) lebih besar dari pasang (3,16 cm/s) atau *ebb dominance*. Hal ini disebabkan oleh pergerakan massa air ke arah mulut agak terhambat di tengah karena penyempitan.



**Gambar 15.** Grafik asimetri pasut di hulu.

Untuk tinjauan selama 3 hari (Tanggal 27 – 29 November 2013), terdapat variasi ketidaksimetrian pasut (saat pasang perbani dan purnama) antara mulut teluk dengan hulu. Pada saat pasang perbani, lamanya pasang di mulut teluk adalah 34,1 jam (1024 data elevasi interval 2 menit) dan lamanya surut 37,9 jam (1136 data) dengan nilai ketidaksimetrian ( $\gamma$ ) sebesar 0,062. Hal ini menunjukkan bahwa lamanya pasang lebih pendek dari surut, namun kecepatan arus maksimum pasang (1,02 cm/s) lebih besar dari surut (0,99) atau *flood dominance*. Demikian juga di hulu, lamanya pasang adalah 34,1 jam (1025 data) dan lamanya surut 37,9 jam (1135 data) dengan nilai ketidaksimetrian sebesar 0,066. Sehingga lamanya pasang di hulu lebih pendek dari surut dan kecepatan arus maksimum surut (2,14 cm/s) lebih besar dari pasang (2,06 cm/s) atau *ebb dominance*. Antara hulu dan

mulut teluk, terdapat selisih nilai ketidaksimetrian, yang mana hulu ( $\gamma = 0,066$ ) lebih besar dari mulut teluk ( $\gamma = 0,062$ ). Perbedaan ini menunjukkan bahwa lamanya pasang di hulu lebih panjang dari pada di mulut teluk, sedangkan lamanya surut di hulu lebih pendek dari pada di mulut teluk. Hal ini disebabkan oleh adanya penyempitan di tengah dan morfologi area dalam teluk yang tertutup. Kecepatan arus pasang di mulut teluk lebih besar dari surut (*flood dominance*) dan kecepatan arus pasang di hulu lebih kecil dari surut (*ebb dominance*), kondisi ini dikarenakan lokasi di mulut teluk yang relatif terbuka dan bebas rintangan dibandingkan dengan di hulu yang relatif lebih sempit, dangkal, dan tertutup.

Ketidaksimetrian pasut selama 1 hari (Tanggal 27/11/2013 19:38 – 28/11/2013 19:36) di mulut teluk, lamanya pasang (12,3 jam / 370 data elevasi) lebih panjang dari surut (11,7 jam/350 data elevasi) dengan nilai ketidaksimetrian ( $\gamma$ ) sebesar -0,067, namun arus surut (1,01 cm/s) lebih besar dari pasang (0,93 cm/s) atau *ebb dominance*. Demikian juga di hulu, lamanya pasang (12,3 jam/369 data elevasi) lebih panjang dari surut (11,7 jam/351 data elevasi) dengan nilai ketidaksimetrian ( $\gamma$ ) sebesar -0,065, namun arus surut (2,15 cm/s) lebih besar dari pasang (1,87 cm/s) atau *ebb dominance*. Nilai ketidaksimetrian pasut di mulut teluk lebih besar dari hulu yaitu sebesar 0,002, yang menunjukkan bahwa lamanya pasang di mulut teluk lebih pendek dari hulu. Sedangkan lamanya surut di mulut teluk lebih panjang dari hulu.

Pada saat pasang purnama (Tanggal 4 – 6 Desember 2013), lamanya pasang di

mulut teluk adalah 37,4 jam (1122 data elevasi interval 2 menit) dan lamanya surut 34,6 jam (1038 data) dengan nilai ketidaksimetrian ( $\gamma$ ) sebesar -0,116. Hal ini menunjukkan bahwa lamanya pasang lebih panjang dari surut, namun kecepatan arus maksimum pasang (2,05 cm/s) lebih besar dari surut (1,92) atau *flood dominance*. Demikian juga di hulu, lamanya pasang adalah 37,4 jam (1121 data) dan lamanya surut 34,6 jam (1039 data) dengan nilai ketidaksimetrian sebesar -0,086. Sehingga lamanya pasang di hulu lebih panjang dari surut namun kecepatan arus maksimum pasang (4,26 cm/s) lebih besar dari surut (4,03 cm/s) atau *ebb dominance*.

Antara hulu dan mulut teluk, terdapat selisih nilai ketidaksimetrian, yang mana hulu ( $\gamma = -0,086$ ) lebih besar dari mulut teluk ( $\gamma = -0,116$ ). Perbedaan ini menunjukkan bahwa lamanya pasang di mulut teluk lebih panjang dari pada di hulu, sedangkan lamanya surut di hulu lebih panjang dari pada di mulut teluk. Hal ini disebabkan oleh disamping adanya penyempitan di tengah dan morfologi di dalam teluk yang tertutup, juga disebabkan oleh kondisi spring, yang mana elevasi semakin besar, sehingga pengaruh gesekan sangat kecil. Kecepatan arus pasang di mulut teluk dan di hulu lebih besar dari surut (*flood dominance*), Hal ini lebih dipengaruhi oleh morfologi teluk, yang mana pada saat pasang di mulut teluk, pasut menjalar dari area terbuka ke area yang lebih sempit, sehingga arus akan menjadi besar. Demikian juga di hulu, pasut menjalar di area dengan batimetri yang relatif dangkal, sehingga arus menjadi lebih besar.

Ketidaksimetrian pasut selama 1 hari (Tanggal 5/12/2013 1:22 – 6/12/2013 1:20) di mulut teluk, lamanya pasang (12,5 jam / 374 data elevasi) lebih panjang dari surut (11,5 jam/346 data elevasi) dengan nilai ketidaksimetrian ( $\gamma$ ) sebesar -0,06, namun arus surut (2,079 cm/s) lebih besar dari pasang (2,078 cm/s) atau *ebb dominance*. Demikian juga di hulu, lamanya pasang (12,5 jam/374 data elevasi) lebih panjang dari surut (11,5 jam/346 data elevasi) dengan nilai ketidaksimetrian ( $\gamma$ ) sebesar -0,03, namun arus surut (4,319 cm/s) lebih besar dari pasang (4,320 cm/s) atau *ebb dominance*.

## KESIMPULAN

1. Arus hasil simulasi model di Teluk Kendari pada saat fasa menuju pasang dengan batimetri alami bergerak dari mulut teluk ke arah hulu dengan kisaran kecepatan 2,93 s/d 28,05 cm/s, pola yang sama terjadi juga saat pasang maksimum dengan kecepatan yang lebih kecil sebesar 0,75 s/d 12,71 cm/s. Sedangkan saat menuju surut arus bergerak sebaliknya yaitu dari hulu ke mulut teluk dengan rentang kecepatan 3,78 s/d 25,81 cm/s, demikian juga pergerakan arus yang sama terjadi saat surut minimum tapi dengan kecepatan yang lebih kecil 1,17 s/d 18,64 cm/s. Kecepatan arus maksimum pada seluruh fasa pasut terjadi di tengah teluk dengan kecepatan terbesar saat fasa pasut menuju pasang sebesar 28,05 cm/s.

2. Variasi batimetri dan morfologi tidak berpengaruh banyak terhadap elevasi pasut (yang tunggang pasutnya:

174 s/d 207 cm) di perairan teluk, dengan perbedaan antar lokasinya sebesar 0,04 s/d 0,13 cm. Sedangkan terhadap arus (dengan rentang nilai maksimum 24,11 s/d 28,05 cm/s) pengaruh tersebut terlihat cukup besar yang nilai perbedaannya adalah antara 1,25 s/d 9,82 cm/s.

3. Secara umum pasut di Teluk Kendari hasil simulasi model dengan batimetri alami menunjukkan bahwa lamanya surut lebih pendek dari pada pasang dengan nilai  $\gamma = -0,014$  s/d -0,02, kecuali di hulu teluk terjadi sebaliknya, yaitu lamanya pasang lebih pendek dari pada surut dengan nilai  $\gamma = 0,01$ . Tempat dengan surut yang paling lama ( $\gamma = -0,02$ ) terjadi di mulut teluk, sementara surut paling singkat ( $\gamma = -0,014$ ) di tengah teluk.

## DAFTAR PUSTAKA

- Boon, J. D., & R. J. Byrne. (1981). On Basin Hypsometry and the Morphodynamics Response of Coastal Inlets system. *Mar. Geol.* 40 (1-2): 27-48.
- Chai, T., & Draxler, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geosci. Model Dev.* 7(2014): 1247 – 1250.
- DHI. (2007). Mike 21 Flow Model. Hydrodynamics Module. *Scientific Documentation*. DHI Software.
- Pushidros TNI AL. (2013). Laporan Hasil Survei Teluk Kendari. Jakarta.
- Pushidros TNI AL. (2014). Laporan Hasil Model Teluk Kendari. Jakarta.

- Ferrarin, C. Tomasin., A., Bajo, M., Petrizzo, A., & Umgiesser, G. (2015). Tidal Changes in a Heavily Modified Coastal Wetland. *Continental Shelf Research* 101 (2015) 22-23.
- McKeen, S. A., Wilczak, J., Grell, G., Djalalova, I., Peckham, S., Hsie, E., Gong, W., Bouchet, V., Menard, S., Moffet, R., McHenry, J., McQueen, J., Tang, Y., Carmichael, G. R., Pagowski, M., Chan, A., Dye, T., Frost, G., Lee, P., & Mathur, R. (2005). Assessment on an Ensemble of Seven Real-Time Ozone Forecast over Eastern North America During the Summer of 2004. *J. Geophys. Res.*, 110, D21307, doi: 10.1029/2005JD005858.
- Mubarrok, S. (2015). Perubahan Dinamika Arus dan Elevasi Muka Air Laut dengan Adanya Pembangunan *Great Giant Seawall* di Teluk Jakarta. *Tesis Program Magister*, Institut Teknologi Bandung.
- Navidi, M. (2011). *Statistics for Engineers and Scientists. Third edition.* McGraw Hill Companies. New York.
- Nidziko, N.J. (2010). Tidal Asymmetry in Estuaries with Mixed Semidiurnal/Diurnal Tides. *J. Geophys. Res.* Vol. 115, C08006, doi:10.1029/2009JC005864, 2010.
- Ray, Richard D., Gary D. Egbert., & Svetlana Y. Erofeeva. (2005): A Brief Overview Of Tides In The Indonesian Seas. *Oceanography*, Vol. 18, No. 4.
- Savage, N. H., Agnew, P., Davis, L., Ordonez, C., Thorpe, R., Johnson, C. E., O'Connor, F. M., & Dalvi, M. (2013). Air Quality Modelling Using the Met Office Unified Model (AQUM OS24-26): Model Description and Initial Evaluation. *Geosci. Model Dev.* 6(2013): 353-372, doi:10.5194/gmd-6-353-2013.
- Suprpti. (2015). Karakteristik Pasang Surut Teluk Kendari. Universitas Hasanuddin Makasar.
- Surveysystem, correlation.html. Diakses tanggal 14 September 2016 dari <http://www.surveysystem.com/>
- Wyrtki, K. (1961). *Physical Oceanography of the Southeast Asian Waters*, NAGA Rep. 2, Scripps Institute of Oceanography, University of California, La Jolla, California; 195 pp.
- Yan, Xin., & Su, Xiaogang, (2009). *Linear Regression Analysis; Theory and Computing.* World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. Singapo

