

Climate phenomenon of La Niña and El Niño advances on variation in sea water level of Lembeh Strait and Sangihe Waters

Fenomena iklim *La Niña* dan *El Niño* terhadap variasi muka laut di perairan Selat Lembeh Dan Sangihe

Riyadi^{1*}, Adri A. Tarumingkeng², Rignolda Djamaluddin², and Gybert A. Mamuya²

¹ Program Studi Ilmu Perairan, Program Pascasarjana, Universitas Sam Ratulangi, Jl. Kampus Unsrat Kleak, Manado 95115, Sulawesi Utara, Indonesia.

² Laboratorium Geomorfologi Pantai, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Sam Ratulangi, Manado.

* E-mail: riyadimdo@gmail.com

Abstract: Coastal Waters of Lembeh Strait characterizes by small waves and bathymetry undulation. While Sangihe waters have big waves, coastal bays with gently sloping beaches and flawless beaches that are generally steep headlands or cliffs on the shoreline. Differences in these two characters are interesting to watch, especially the value of the Mean Sea Level (MSL). The Least square method is the method of calculating the tidal harmonic constants which are the amplitude and phase lag. Formzahl number calculation is used to determine the type of the tidal in these two waters. The Formzahl numbers of these two waters ranged from 0.26-1.5, so there was no difference in the tidal type. The type of tidal of these two waters was catagorised as *Mixed Tide Prevailing Semidiurnal*, which is generally in eastern Indonesia waters. Comparison of the fluctuation of Mean Sea Level (MSL) in Lembeh Strait waters in normal climatic conditions, lanina and elnino showed the difference in height. In elnino condition, the MSL value was 87 mm lower (5.9%) than in normal operating condition (1387 mm), and in lanina condition, the average of MSL was higher 51 mm (3.46%) of the normal condition (1525 mm). While in normal climatic conditions, the MSL was 1474 mm©

Keywords: tides; mean sea level; la ñina; el ñino.

Abstrak: Perairan laut di Selat Lembeh mempunyai karakteristik gelombang kecil dan batimetri berundulasi. Sedangkan di perairan Sangihe memiliki gelombang besar, pantai teluk berparas pantai landai dan pantai tanjung yang umumnya terjal atau bertebing pada garis pantai. Perbedaan dua karakter ini menjadi hal yang menarik untuk diamati, terutama muka air laut rerata (MLR). Metode *least square* adalah metode perhitungan pasang surut yang digunakan untuk menghitung konstanta harmonik yaitu amplitude dan kelambatan fase. Dengan perhitungan bilangan *Formzahl* akan mengetahui tipe pasang surut di kedua perairan tersebut. Diperoleh bilangan *Formzahl* perairan tersebut berkisar antara 0,26-1,5, sehingga tidak ada perbedaan tipe pasang surutnya. Tipe pasang surut antara kedua perairan ini adalah tipe pasang surut campuran condong ke harian ganda. Pasang surut jenis ini banyak terdapat di perairan Indonesia bagian timur. Perbandingan fluktuasi muka laut rerata (MLR) di perairan Selat Lembeh pada kondisi iklim normal, *El Niño* dan *La Niña* menunjukkan perbedaan ketinggian. Di mana pada kondisi *El Niño* mempunyai muka laut rerata (MLR) lebih rendah 87 mm (5,9%) dari kondisi normalnya yaitu 1387 mm dan pada kondisi *La Niña* mempunyai muka laut rerata (MLR) lebih tinggi 51 mm (3,46%) dari kondisi normalnya yaitu 1525 mm. Sedangkan pada kondisi iklim normal muka laut rerata (MLR) adalah 1474 mm©

Kata-kata kunci: pasang surut; muka laut rerata; la ñina; el ñino.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan sebagian besar wilayahnya merupakan perairan. Potensi perairan di Indonesia merupakan posisi strategis untuk pelayaran nasional maupun internasional. Penelitian mengenai variasi muka laut di suatu perairan penting dilakukan untuk

mendukung kegiatan pelayaran khususnya dan aktivitas yang dilakukan di perairan (transportasi air) pada umumnya.

Gerakan pasang surut pada tempat-tempat tertentu tidak hanya tergantung pada gaya tarik bulan dan matahari saja, tetapi juga ditentukan oleh gaya friksi, rotasi bumi (gaya coriolis), dan resonansi gelombang yang disebabkan oleh bentuk, luas, kedalaman, topografi bawah air serta

hubungan perairan tersebut dengan laut di sekitarnya (lautan terbuka/laut bebas dengan laut tertutup/laut terisolir). Selain itu terdapat faktor-faktor non-astronomi yang mempengaruhi pasut seperti tekanan atmosfer, angin, densitas air laut, penguapan dan curah hujan (Mihardja dan Setiadi, 1989). Berbagai metode analisis pasut telah dikembangkan saat ini, seperti metode least square (Emery and Thomson, 1997) dan metode *Admiralty*. Pada penelitian analisis pasut ini digunakan metode *least square*.

Kondisi wilayah Sulawesi Utara sendiri juga terbagi menjadi Sulut daratan (meliputi bagian semenanjung Sulawesi bagian utara) dan kepulauan (meliputi pulau-pulau di sebelah utara seperti Kepulauan Sangihe dan Talaud) yang berhadapan langsung dengan Samudera Pasifik. Kedua kondisi ini mempunyai karakteristik perairan yang berbeda pula, termasuk yang diduga adalah kondisi pasang surut air laut.

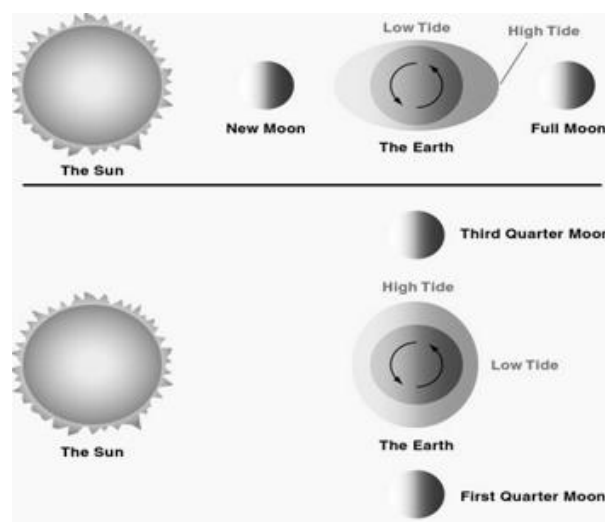
Masalah yang dirumuskan adalah bagaimana karakteristik pasang surut di perairan Selat Lembeh Daratan dan Sangihe seperti antara lain tipe pasang surut dan tinggi permukaan laut rata-rata? Bagaimana mengolah data pasut dengan menggunakan metode *least square* untuk mendapatkan komponen harmonik pasut yang nantinya digunakan untuk menentukan bilangan *Formzal*? Bagaimana pengaruh fenomena *El Niño* dan *La Niña* terhadap variasi muka laut di Selat Lembeh? Tujuan penelitian adalah untuk menentukan tinggi muka air laut rerata (MLR), tipe pasang surut dan mengetahui hubungan pasang surut air laut dengan kondisi anomali iklim (*El Niño* dan *La Niña*) di perairan Selat Lembeh.

Pasang surut air laut adalah suatu gejala fisik yang selalu berulang dengan periode tertentu dan pengaruhnya dapat dirasakan sampai jauh masuk ke arah hulu dari muara sungai. Pasang surut terjadi karena adanya gerakan dari benda benda angkasa yaitu rotasi bumi pada sumbunya, peredaran bulan mengelilingi bumi dan peredaran bumi mengelilingi matahari. Gerakan tersebut berlangsung dengan teratur mengikuti suatu garis edar dan periode yang tertentu. Pengaruh dari benda angkasa yang lainnya sangat kecil dan bisa diabaikan (Wells, 2012). Keadaan pasang surut di suatu tempat dilukiskan oleh konstanta harmonik. Sehingga yang dimaksud dengan analisis harmonik pasang surut adalah suatu cara untuk mengetahui sifat dan karakter pasang surut di suatu tempat dari hasil pengamatan pasang surut dalam kurun waktu tertentu. Pengamatan pasang surut idealnya selama 18,6 tahun (Pariwono, 1985).

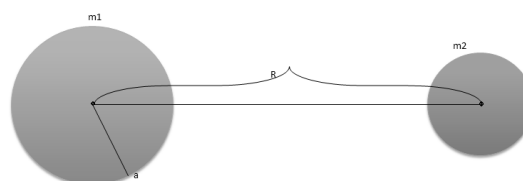
Gerakan dari benda angkasa tersebut di atas akan mengakibatkan terjadinya beberapa macam gaya pada setiap titik di bumi ini, yang disebut gaya pembangkit pasang surut. Masing-masing gaya akan memberikan pengaruh pada pasang surut dan disebut komponen pasang surut, dan gaya tersebut berasal dari pengaruh matahari, bulan atau kombinasi keduanya, seperti pada Gambar 1 (Pugh, 1987).

Pasang surut laut merupakan hasil dari gaya tarik gravitasi dan efek *sentrifugal*. Efek *sentrifugal* adalah dorongan ke arah luar pusat rotasi. Gravitasi bervariasi secara langsung dengan massa tetapi berbanding terbalik terhadap jarak. Meskipun ukuran bulan lebih kecil dari matahari, gaya tarik gravitasi bulan dua kali lebih besar daripada gaya tarik matahari dalam membangkitkan pasang surut laut karena jarak bulan lebih dekat daripada jarak matahari ke bumi. Gaya tarik gravitasi menarik air laut ke arah bulan dan matahari dan menghasilkan dua tonjolan (*bulge*) pasang surut gravitasional di laut. Lintang dari tonjolan pasang surut ditentukan oleh deklinasi, sudut antara sumbu rotasi bumi dan bidang orbital bulan dan matahari (Hicks, 2006).

Pada tahun 1687 Newton mengemukakan



Gambar 1. Gaya gravitasi oleh Bulan dan Matahari (Pugh, 1987)



Gambar 2. Gaya Tarik benda angkasa dengan massa berbeda (Pariwono, 1987)

tentang teori kesetimbangan pasang dan surut, yaitu pada air laut terjadi akibat adanya gaya tarik bulan dan matahari terhadap bumi, di mana hukum Newton menyatakan bahwa “Bumi merupakan bola padat yang dilapisi dengan air secara merata, pada tiap saat akan terjadi/terdapat situasi statis yang setimbang (*momentaneous static stability*)” (Pariwono, 1987). Pada Gambar 2 menunjukkan gaya tarik antara 2 (dua) benda angkasa masing-masing dengan massa m_1 dan m_2 dengan jarak antara R sedang kedua benda tersebut tidak bergerak.

Maka besarnya gaya tarik :

$$F = k \frac{m_1 m_2}{R^2}$$

Bila m_2 bergerak mengelilingi m_1 seperti halnya bulan mengelilingi bumi, maka terdapat gaya sentrifugal. Dengan adanya gaya-gaya sentrifugal gaya tarik menjadi :

$$F = k \frac{m_1 m_2}{R^3} 2a$$

dengan :
 F = gaya gravitasi (Newton)
 k = konstanta gravitasi ($6,673 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$)
 m_1 = massa bumi (kg)
 m_2 = massa bulan (kg)
 R = jarak bumi dengan bulan (m)
 a = radius bumi (m)

Rumus di atas digunakan untuk membandingkan gaya tarik bulan terhadap bumi dan gaya tarik

pasang surut diidentifikasi ada sembilan unsur seperti pada Tabel 1 (Pariwono, 1987).

Dilihat dari pola gerakan muka lautnya, pasang-surut di Indonesia dapat dibagi menjadi empat jenis yaitu pasang-surut harian tunggal (*diurnal tide*), harian ganda (*semidiurnal tide*) dan dua jenis campuran.

1. Harian Ganda (*Semi Diurnal Tide*)

Dalam satu hari terjadi dua kali 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.

2. 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.

3. 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.

4. Campuran Condong ke Harian Tunggal (*Mixed Tide Prevailing Diurnal*)

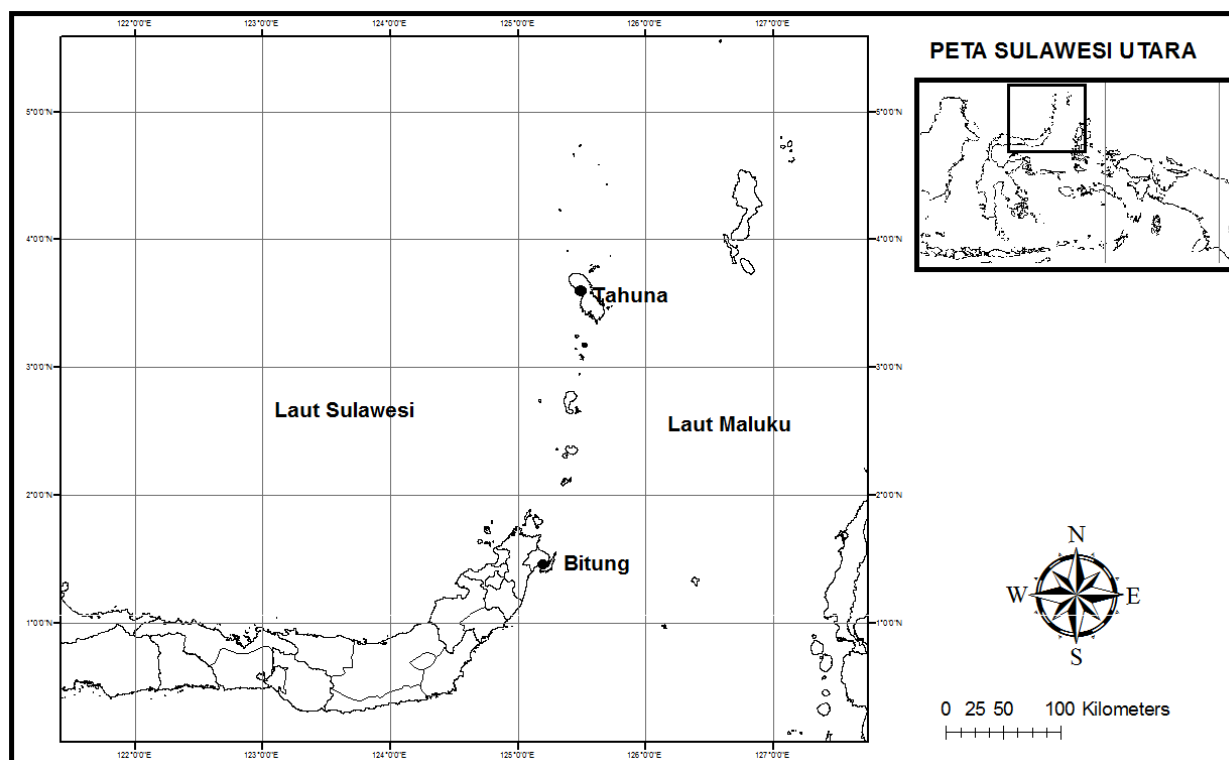
Pada tipe ini dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut, tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda.

Tabel 1. Sembilan unsur utama pembangkit pasang surut (Pariwono, 1987)

Unsur	Periode (jam)	Kecepatan sudut ($^{\circ}/\text{jam}$)	Sifat dan disebabkan oleh
M_2	12.42	28.9841	Harian ganda: bulan orbit lingkaran dan 'equatorial orbit'
S_2	12.00	30.0000	Harian ganda: Matahari orbit lingkaran dan 'equatorial orbit'
K_2	11.97	30.0821	Harian ganda: deklinasi bulan dan deklinasi matahari
N_2	12.66	28.4397	Harian ganda: orbit bulan yang eliptis
K_1	23.93	15.0411	Harian ganda: deklinasi bulan dan deklinasi matahari
O_1	25.82	13.9430	Harian ganda: deklinasi bulan
P_1	24.07	14.9589	Harian ganda: deklinasi matahari
M_4	6.21	57.9682	'quarter diurnal': perairan dangkal
MS_4	6.20	58.9841	'quarter diurnal': perairan dangkal, interaksi M_2 dan S_2

matahari terhadap bumi. Berdasarkan data yang diketahui maka amplitudo akibat gaya tarik bulan = 2,26 kali amplitudo akibat gaya tarik matahari. Sedangkan periode harmonik matahari adalah 12 jam dan bulan 12,42 jam. Unsur utama pembangkit

Ada tiga metode analisis pasut, yaitu metode non harmonik, metode harmonik dan metode respons. Metode non harmonik didasarkan atas perhitungan hubungan antara waktu air tinggi dan



Gambar 3. Lokasi penelitian
(Sumber : WinITDB, 2007)

air rendah dengan fase bulan dan berbagai parameter astronomis lainnya. Metode harmonik didasarkan pada tinggi muka laut yang dianggap sebagai superposisi dari sejumlah gelombang komponen harmonik pasut yang kecepatan sudut serta fasenya dapat dihitung berdasarkan parameter astronomis. Metode respon didasarkan pada pengembangan konsep dari teknik elektronik di mana frekuensi tergantung pada sistem respon dari suatu mekanisme yang bergerak (Pugh, 1987). Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah metode harmonik dengan analisis *least square*.

Fenomena *El Niño* terjadi apabila perairan yang lebih panas di Pasifik tengah dan timur meningkatkan suhu dan kelembaban pada atmosfer yang berada di atasnya. Kejadian ini mendorong terjadinya pembentukan awan yang akan meningkatkan curah hujan di sekitar kawasan tersebut. Bagian barat Samudra Pasifik tekanan udara meningkat sehingga menyebabkan terhambatnya pertumbuhan awan di atas lautan bagian timur Indonesia, sehingga di beberapa wilayah Indonesia terjadi penurunan curah hujan yang jauh dari normal. Sedangkan saat terjadi *La Niña* adalah sebaliknya.

MATERIAL DAN METODE

Lokasi penelitian seperti pada Gambar 3. Metode yang digunakan adalah kuantitatif dengan data sekunder yang didapat dari hasil pengukuran Bakosurtanal dan BMKG. Data yang diperoleh meliputi wilayah Pelabuhan Samudera Bitung ($1^{\circ}26'36,0''$ LU - $125^{\circ}11'24,0''$ BT) berupa data pengamatan pasang surut tiap jam dari 1987 sampai 2011, data curah hujan bulanan tahun 1987 sampai 2011 serta data pengamatan pasang surut tiap jam dari tahun 2010 sampai 2011 di Pelabuhan Tahuna ($3^{\circ}36'25,0''$ LU - $125^{\circ}30'09,0''$ BT). Penggunaannya dalam studi ini yaitu untuk menentukan datum elevasi permukaan air laut yakni MSL (Mean Sea Level) dan tipe pasut di daerah penelitian.

Proses analisis harmonik pasut diawali dengan merubah terlebih dahulu satuan data pasut dari milimeter (mm) menjadi meter, kemudian data pasut dikelompokkan berdasarkan urutan waktu pengamatan setiap jam dengan menggunakan perangkat lunak *Microsoft Office Excel*. Selanjutnya proses dilanjutkan dengan memasukkan data pasut yang telah dikelompokkan ke dalam perangkat lunak *excel* sehingga didapatkan amplitude (dalam meter) dan fase (dalam derajat) serta *Mean Sea Level* (MSL) setiap stasiun pasut.

Metode analisis harmonik dirumuskan sebagai berikut (Boon, 2007):

$$ht_i = Z_0 + \sum_1^n H_n \cos(\omega_n t_i - g_n)$$

- di mana :
- h = amplitudo ke- t_i
 - Z_0 = rata-rata tinggi permukaan laut (*Mean Sea Level*)
 - H_n = amplitudo rata-rata komponen harmonik ke-n
 - ω_n = kecepatan sudut dari komponen harmonik ke-n
 - t = waktu yang dinyatakan dalam GMT (*Greenwich Mean Time*)
 - g_n = fase dari komponen harmonik ke-n untuk waktu

Dengan analisis harmonik pasut menggunakan metode *least square* maka akan mendapatkan amplitudo serta fase dari komponen harmonik pasut melalui beberapa tahapan (Boon, 2007). Penentuan besaran Z_0 , A_n dan B_n melalui persamaan matriks sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} ht_1 \\ \dots \\ ht_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \cos(\omega_1 t_1) & -\sin(\omega_1 t_1) & \dots & \cos(\omega_n t_1) & -\sin(\omega_n t_1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & \cos(\omega_1 t_x) & -\sin(\omega_1 t_x) & \dots & \cos(\omega_n t_x) & -\sin(\omega_n t_x) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_0 \\ A_1 \\ B_1 \\ A_2 \\ B_2 \\ \dots \\ A_n \\ B_n \end{bmatrix}$$

Dari persamaan matriks tersebut kita akan mendapatkan komponen harmonik yaitu :

	S_0	M_2	S_2	K_2	N_2	K_1	O_1	P_1	M_4	MS_4
H(m)
g^0

Komponen-komponen di atas digunakan untuk menentukan tipe pasang surut, dengan menghitung bilangan Formzal yang menggunakan rumus :

$$F = \frac{AK_1 + AO_1}{AM_2 + AS_2}$$

di mana:

- AK_1 : amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan dan matahari
- AO_1 : amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan

AM_2 : amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan

AS_2 : amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik matahari

dengan ketentuan:

- $F \leq 0,25$: Pasang surut tipe ganda (*semidiurnal tides*)
- $0,25 < F \leq 1,5$: Pasang surut tipe campuran condong harian ganda (*mixed mainly semidiurnal tides*)
- $1,50 < F \leq 3,0$: Pasang surut tipe campuran condong harian tunggal (*mixed mainly diurnal tides*)
- $F > 3,0$: Pasang surut tipe tunggal (*diurnal tides*)

Fenomena terjadinya iklim *El Niño* dan *La Niña* menggunakan referensi selisih perbedaan suhu dari rata-rata normal bulanan tahun 1987 s/d 2011 di pantai barat Peru dan Ekuador (Gambar 4) (NOAA, 2013). Untuk mengetahui hubungan fenomena iklim *La Niña* dan *El Niño* terhadap perubahan pasang surut air laut di Selat Lembeh dan perairan Sangihe, maka dihitung rata-rata muka laut (rata-rata pasut) bulanan dan rata-rata curah hujan bulanan baik waktu terjadinya *El Niño* dengan waktu terjadinya *La Niña*. Data curah hujan bulanan yang diperoleh juga dipisahkan sesuai dengan terjadinya *El Niño* dan *La Niña*. Data tersebut dibuatkan tabel sehingga lebih mudah dilakukan pembahasan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian Puslitbang Geologi Kelautan (2004), Pelabuhan Bitung merupakan salah satu wilayah perairan yang terletak di wilayah Sulawesi Utara tepatnya berada di sekitar Selat Lembeh. Letak yang strategis dan adanya dukungan dari Provinsi Sulawesi Utara yang potensial menjadikan perairan Selat Lembeh ini sebagai pusat pelayaran internasional di kawasan timur Indonesia. Dengan kondisi batimetri di perairan Selat Lembeh (Pelabuhan Bitung) kedalaman laut di sekitar selat antara 10 hingga 100 meter dengan morfologi berundulasi dan ke arah timur di laut dengan kedalaman laut antara 50 hingga 3000 meter.

Berdasarkan Tabel 2 maka diperoleh nilai kisaran bilangan *Formzahl* untuk perairan Selat Lembeh sebesar 0,34-1,49, yang tergolong dalam tipe pasang surut campuran condong ke harian

ketinggian muka laut dan rata-rata hujan bulanan pada ketiga fenomena iklim tersebut.

Berdasarkan hasil penelitian Puslitbang Geologi Kelautan (2004) Pelabuhan Tahuna

Tabel 2. Hasil Perhitungan Bilangan *Formzahl* di Perairan Selat Lembeh

No	Bulan	Tahun									
		1988	1989	1992	1994	1995	1999	2000	2008	2009	2010
1	Jan	0.81	0.60			0.50				0.79	0.46
2	Peb	0.57	0.59	0.69						0.58	0.34
3	Mar	0.61	0.68								0.39
4	Apr	0.60	0.60			0.52					0.48
5	Mei	0.66	0.77		0.60	0.57					0.62
6	Jun	0.84				0.86	0.57				0.74
7	Jul	0.68			0.56		1.49				0.80
8	Agt	0.59			0.48	0.50	0.57				0.81
9	Sep	0.66	0.66		0.50						0.79
10	Okt	0.74	0.74		0.59			0.54	0.77		0.72
11	Nop	1.15			0.49			0.56	0.73		0.66
12	Des	0.59	0.58		0.55		0.55		0.67		0.58

Tabel 3. Hasil Perhitungan rata-rata muka laut (MSL) dan curah hujan pada kondisi fenomena iklim *El Niño*, *La Niña* dan normal.

	Fenomena Iklim	rata-rata pasut bulanan			rata-rata curah hujan bulanan		
		MSL (mm)	%	selisih (mm)	CH (mm)	%	selisih (mm)
1	<i>El Niño</i>	1387	-5.90	-87	116	24.68	-38
2	<i>La Niña</i>	1525	3.46	51	174	12.99	20
3	normal	1474	0	0	154	0	0

ganda (*mixed mainly semidiurnal tides*), yaitu pasang surut yang terjadi karena dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut tetapi tinggi dan periodenya berbeda.

Berdasarkan Tabel 3 maka diketahui bahwa pada kondisi fenomena iklim normal tinggi muka laut rata-rata (MSL) adalah 1474 mm, *El Niño* tinggi muka laut rata-rata (MSL) adalah 1387 mm dan pada fenomena *La Niña* tinggi muka laut rata-rata (MSL) adalah 1525 mm. Sedangkan rata-rata bulanan curah hujan pada kondisi *El Niño* adalah 116 mm, kondisi *La Niña* adalah 174 mm dan kondisi normal adalah 154 mm. Ada perbedaan

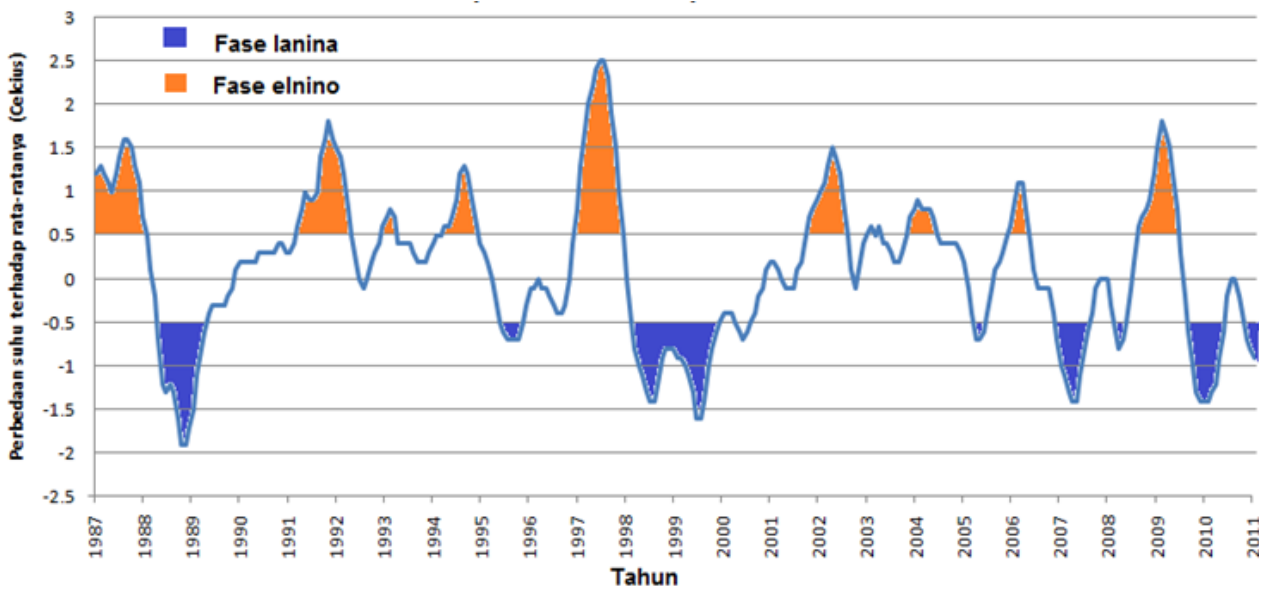
merupakan pelabuhan utama di kabupaten Sangihe dengan morfologi sepanjang pantai hampir seragam yaitu pantai teluk yang umumnya berparas pantai (*shoreface*) landai dan pantai tanjung yang umumnya terjal atau bertebing pada garis pantai. Garis pantai bagian selatan mempunyai teluk dan tanjung yang jauh lebih banyak dibandingkan kawasan utara. Kawasan ini juga mempunyai lebih banyak pulau, punggung, dan lembah-lembah sungai. Pada bagian barat berbatasan dengan laut Sulawesi yang mana mempunyai batimetri yang sangat terjal hingga kedalaman 4500 m.

Berdasarkan Tabel 4 maka diperoleh nilai kisaran bilangan *Formzahl* untuk perairan Tahuna sebesar 0,18-0,51, tetapi nilai yang dominan adalah $0,25 < F \leq 1,5$ yang tergolong dalam tipe pasang surut campuran condong ke harian ganda (*mixed mainly semidiurnal tides*). Yaitu pasang surut yang terjadi karena dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut tetapi tinggi dan periodenya berbeda.

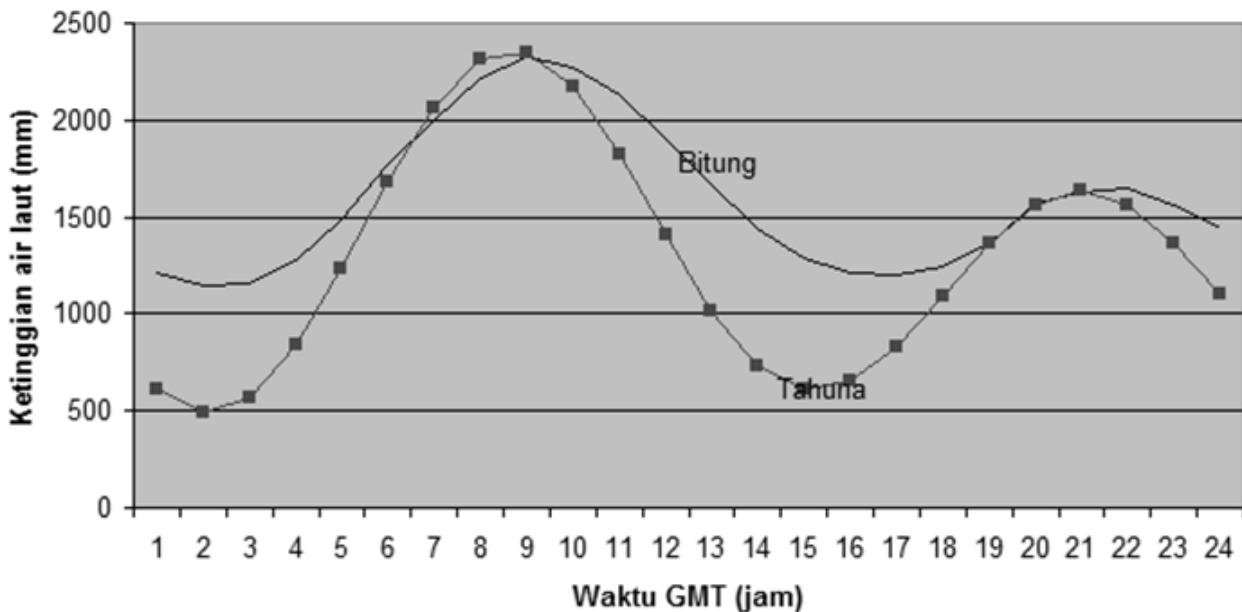
Berdasarkan Gambar 5 diketahui bahwa tipe pasang surut di Pelabuhan Bitung dan Tahuna

adalah tipe pasang surut campuran condong ke harian ganda, yaitu dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut tetapi kadang-kadang terjadi satu pasang surut dalam satu hari dengan tinggi dan periode berbeda. Pasang surut jenis ini banyak terdapat di perairan Indonesia bagian timur.

Ketinggian Muka Air Laut Rerata (MLR) pada dua perairan berbeda disebabkan karakteristik topografi perairan tidak sama. Perairan Selat Lembeh memiliki karakteristik gelombang kecil dan



Gambar 4. Fenomena *El Niño* dan *La Niña* berdasarkan selisih perbedaan suhu dari rata-rata normal bulanan tahun 1987 s/d 2011 di pantai barat Peru dan Ekuador (NOAA, 2013)



Gambar 5. Perbandingan tipe pasang surut di Pelabuhan Bitung dan Tahuna (data direkam pada 1 April 2009)

Tabel 4. Hasil Perhitungan Bilangan Formzahl di Pelabuhan Tahuna

No	Bulan	Tahun		
		2009	2010	2011
1	Jan	0.25	0.27	0.35
2	Peb	0.18	0.18	0.25
3	Mar	0.19	0.18	0.18
4	Apr	0.28	0.25	0.23
5	Mei	0.37	0.34	0.29
6	Jun	0.43	0.43	0.37
7	Jul	0.45	0.48	0.45
8	Agt	0.45	0.49	0.49
9	Sep	0.47	0.47	0.51
10	Okt	0.45	0.43	0.45
11	Nop	0.42	0.40	0.43
12	Des	0.36	0.35	0.36

batimetri dasar laut berundulasi, sedangkan di perairan Tahuna memiliki gelombang yang besar dengan pantai teluk yang umumnya berparas pantai (*shoreface*) landai dan pantai tanjung yang umumnya terjal atau bertebing pada garis pantai.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan selama empat bulan (Desember-Maret) di kantor Stasiun Meteorologi Maritim Bitung diperoleh data mengenai pasang surut yang kemudian dianalisis dengan menggunakan metode least square serta data curah hujan, sehingga diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

Tipe pasang surut di perairan Selat Lembeh (Pelabuhan Bitung) dengan perairan Sangihe (Pelabuhan Tahuna) menggunakan bilangan *Formzahl* tidak menunjukkan perbedaan, berdasarkan penelitian ini maka diperoleh tipe pasang surut antara perairan kedua wilayah berkisar antara 0,26-1,5 dengan kisaran tipe pasang surut yang seperti ini maka dapat dikatakan bahwa tipe pasang surut antara kedua perairan ini adalah tipe pasang surut campuran condong ke harian ganda.

Tinggi rata-rata pasang surut di perairan Lembeh dalam kondisi fenomena iklim normal, *La Niña* dan *El Niño* menunjukkan perbedaan yang berarti yaitu pada kondisi *El Niño* tinggi muka laut rata-rata (MSL) adalah 1387 mm, kondisi *La Niña* tinggi muka laut rata-rata (MSL) adalah 1525 mm dan kondisi normal tinggi muka laut rata-rata (MSL) adalah 1474 mm. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi *El Niño* (curah hujan sedikit) tinggi muka laut lebih rendah 87 mm (5,9%) dari normal sedangkan pada kondisi *La Niña* (banyak curah hujan) tinggi muka laut lebih tinggi 51 mm (3,46%) dari normal.

Ucapan terima kasih. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada teman-teman dari Unit Pelaksana Teknis BMKG yang ada di Winangun dan Bitung yang telah membantu dalam pengumpulan data, teman-teman mahasiswa Pascasarjana Progran Studi Ilmu Perairan, serta keluarga tercinta yang selalu memberi dorongan dalam penulisan ini.

REFERENSI

- BOON, J. D. (2007) *World Tides User Manual*. www.worldtidesandcurrents.com. (Accessed 12 Mei 2008)
- DARMADI, A.D. (2012) *Hidro-oseanografi Praktis 1 Survei Hidrologi*. Yayasan Mandalika Cibinong.
- DARMADI, A.D. (2012) *Hidro-oseanografi Praktis 2 Pasang Surut*. Yayasan Mandalika Cibinong.
- DEFANT, A. (1958) *Ebb and Flow. The Tides of Earth, Air, and Water*. Michigan: the University of Michigan Press.
- DIPOSAPTONO, S. (2007) *Karakteristik Laut Pada Kota Pantai*. Direktorat Bina Pesisir, Direktorat Jendral Urusan Pesisir dan Pulau-pulau Kecil. Jakarta: Departemen Kelautan dan Perikanan.
- HICKS, S.D. (2006) *Understanding Tides*. US Departement of Commerce, National Oceanic and Atmosphere Administration.
- IRAWAN, B. (2006) Fenomena Anomali Iklim El Nino dan La Nina: Kecenderungan Jangka Panjang dan Pengaruhnya Terhadap Produksi Pangan. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 24(1), 28-45.
- MIHARDJA, D.K. (1991) *Energy and Momentum Budget of the tides in Indonesian waters*.

- Hamburg: Institut für Meereskunde, Nurisman, N., 2012.
- NONTJI, A. (1987) *Laut Nusantara*. Jakarta: Djambatan.
- PARIWONO, J. (1987) *Gaya Penggerak Pasang Surut*. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi, pp. 13-23.
- PUGH, D. T. (1987) *Tides, Surges and Mean Sea Level*. Singapore: John Wiles and Sons.
- RATAG, M.A. (2006) *Pemodelan Sistem Iklim*. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- SUYARSO, O. (1989) *Pasang Surut*. LIPI. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi.
- TRIATMODJO, B. (1999) *Teknik Pantai*, Yogyakarta: Beta Offset.
- WELLS, N.C. (2012) *The Atmosphere and Ocean, A Physical Introduction Thrid Edition*. A John Wiley & Sons, Ltd., UK: Publication. University of Southampton.

Diterima: 22 April 2013

Disetujui: 29 April 2013