

KAJIAN KARAKTERISTIK HARMONIK PASANG SURUT DENGAN METODE ADMIRALTY DI MALUKU UTARA

Maulydia Andis Andini^{1)*}

¹⁾Stasiun Meteorologi Emalamo Kepulauan Sula

*Korespondensi: maulydia.andini@bmet.go.id

ABSTRACT

North Maluku is one of the youngest first-level administrative division of Indonesia with a total area of 140.366,32 km². The territorial waters of this province are larger than the continents. By this condition, the ecosystem is prone to have sea anomaly vulnerability that might cause sea level variation such as tides. This research was conducted to observe the components and tidal types in North Maluku waters. Quantitative analysis using Admiralty method is carried out in this study. There are 6 points of research sites in this province that were being analyzed. The results indicate that all sites demonstrating a similarity final result of Formzahl value between 0.25 and 1.5 with varied water level parameters. It means that North Maluku waters have mixed tide prevailing semidiurnal tidal type. Therefore, this study is expected to be useful for supporting the safety and regional development in North Maluku and also can be used as a reference for subsequent research.

Keywords: types, tidal, admiralty method

ABSTRAK

Maluku Utara merupakan salah satu provinsi termuda di Indonesia dengan luas wilayah sebesar 140.366,32 km². Wilayah perairan provinsi ini lebih luas daripada daratannya. Dengan kondisi geografis yang demikian, ekosistem di wilayah tersebut memiliki kerentanan terhadap anomali laut yang mempengaruhi variasi muka laut seperti terjadinya pasang surut. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui komponen dan tipe pasang surut di wilayah Maluku Utara. Metode penelitian yang diterapkan menggunakan analisis secara kuantitatif dengan menerapkan perhitungan metode Admiralty. Sebanyak 6 titik studi wilayah di provinsi tersebut dianalisis dalam penelitian ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keseluruhan 6 titik penelitian memiliki kesamaan hasil akhir rentang nilai Formzahl antara 0.25 hingga 1.5 dengan parameter tinggi rendah muka air yang bervariasi. Artinya Maluku Utara memiliki tipe pasang surut campuran condong ke harian ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*). Oleh karena itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai bahan pertimbangan dalam mendukung keselamatan dan pengembangan wilayah di Maluku Utara serta dapat menjadi referensi untuk penelitian yang lebih lanjut.

Kata kunci: tipe, pasang surut, metode admiralty

PENDAHULUAN

Maluku Utara merupakan salah satu provinsi termuda di Indonesia yang mana wilayah perairannya lebih luas daripada daratannya. Secara keseluruhan, wilayah Provinsi Maluku Utara memiliki luas sebesar 140.366,32 km². Wilayah daratan di Maluku Utara yang didominasi oleh kepulauan-kepulauan terbilang memiliki rasio lebih kecil daripada wilayah perairannya yakni 76% wilayahnya berupa perairan (Badan Pusat Statistik Provinsi Maluku Utara, 2008). Selain itu, di bagian sisi utara Maluku Utara berbatasan langsung dengan Samudera Pasifik.

Oleh karena itu, dengan kondisi geografis tersebut menunjukkan bahwa ekosistem di provinsi ini tak lepas dari karakteristik kemaritimannya. Artinya Maluku Utara berpotensi besar rentan mendapatkan pengaruh gangguan atau anomali dari laut. Seperti gelombang tinggi, abrasi, banjir rob, dan lain sebagainya.

Gangguan-gangguan dari laut dapat dikatakan sebagai variasi perubahan muka laut. Menurut Byun (2004), variasi perubahan muka laut digolongkan menjadi 2 jenis yaitu (a) variasi akibat faktor astronomi seperti gaya gravitasi antara bumi; bulan; dan matahari serta (b) variasi akibat faktor non astronomi seperti

perubahan iklim global dan pengaruh meteorologi. Kedua pengaruh ini mampu memberikan pengaruh signifikan terhadap perubahan keadaan tinggi muka laut yang dapat diprediksi secara periodik dengan memperhitungkan letak astronomi antara bumi, bulan, dan matahari. Sedangkan pengaruh dari faktor non astronomi tidak memiliki pola periodik dan memungkinkan terjadinya perubahan tinggi muka laut yang cukup ekstrim (Gregory dkk., 2019).

Perubahan muka laut ini tentunya sangat menentukan aspek kehidupan dan pengembangan di Maluku Utara. Seperti kegiatan di sektor transportasi laut, pembangunan di pesisir, pariwisata, perikanan, dan lain-lain sangatlah bergantung dengan kondisi laut. Oleh karena itu, pengamatan laut memiliki peran penting untuk menunjang kehidupan manusia. Salah satunya pengamatan pasang surut air laut.

Pasang surut air laut atau yang juga disebut dengan pasut telah diobservasi oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) melalui stasiun-stasiun pengamatan yang tersebar di seluruh Indonesia. Jumlah stasiun pengamatan pasut BIG hingga saat ini secara keseluruhan berjumlah 159 stasiun (BIG, n.d.a.). Di wilayah Maluku Utara sendiri terdapat 13 stasiun. Yang mana pasut telah diamati secara *real time* tiap menit dan dapat diakses secara terbuka oleh umum melalui laman website resminya.

Berdasarkan uraian di atas, maka penting adanya perhatian khusus terkait kondisi pasut di wilayah provinsi Maluku Utara. Dalam kajian ini, penulis melakukan penelitian pasut untuk mendapatkan amplitudo dan fase kelambatan pasut dengan metode Admiralty dengan tujuan untuk mengetahui komponen dan tipe pasut di wilayah Maluku Utara. Oleh karena itu, diharapkan bahwa penelitian ini dapat memberikan manfaat untuk bahan pertimbangan dalam mendukung keselamatan dan pengembangan wilayah di Maluku Utara.

KAJIAN PUSTAKA

1. Pasang Surut

Menurut Triatmojo (1999), pengertian pasut adalah pergerakan muka air laut secara vertikal yang berirama yang disebabkan oleh adanya gravitasi benda-benda astronomi khususnya matahari dan bulan terhadap bumi. Sedangkan Dronkers (1964) berpendapat bahwa pasut air laut merupakan suatu perubahan muka laut secara vertikal atau naik turun secara periodik akibat adanya gabungan gaya tarik benda-benda langit khususnya matahari, bulan, dan bumi. Pasut dibangkitkan oleh suatu gaya dari gaya tarik menarik matahari-bulan-bumi dan resultan gaya sentrifugal (Aziz, 2006). Pasut yang terjadi dengan ketinggian maksimum terjadi ketika bulan, bumi, dan matahari berada dalam satu garis yang mana terjadi gaya tarik menarik antara bulan dan matahari terhadap muka laut di bumi. Hal ini terjadi ketika memasuki bulan baru dan bulan purnama serta disebut sebagai pasang purnama (*spring tide*). Sedangkan sebaliknya yakni ketika bulan dan bumi berada pada posisi tegak lurus terhadap matahari, maka yang terjadi adalah gaya tarik menarik antara bulan dan matahari menjadi lemah dan tinggi pasut menjadi minimum. Fenomena ini disebut sebagai pasang perbani (*neap tide*) (Duxbury dkk., 1994).

Klasifikasi pasut di Indonesia digolongkan menjadi 4 jenis (Wyrcki, 1961) yaitu pasang surut harian ganda (*semi diurnal tide*), pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*), pasang surut campuran condong keharian ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*), pasang surut campuran condong ke harian tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*).

2. Komponen Pasang Surut

Persamaan pasut:

$$h(t) = S_0 \sum_{n=1}^{n=N} f_n(t) \cdot A_n \cdot \cos(\omega_n \cdot t - g_n + V_n(t_0) + u_n(t)) \dots \dots (2)$$

di mana:

- $h(t)$: tinggi muka laut saat t
- S_0 : tinggi muka laut rata-rata
- A_n : amplitude konstanta pasut ke- n

- ω_n : kecepatan sudut harmonik ke-n ($^{\circ}$ /jam)
- $V_n(t_0)$: fase sinyal rujukan (harmonik ekuilibrium) saat t_0
- g_n : konstanta (kelambatan) fase harmonik ke-n
- $f_n(t)$ dan $u_n(t)$: “*nodal factor*” dan “*nodal phase*” untuk mengatur amplitudo dan fase sinyal referensi terhadap perubahan nodal
- t_0 : waktu rujukan
- t : waktu dalam desimal sejak t_0

Pada dasarnya, suatu pasut yang terjadi merupakan hasil dari perhitungan nilai komponen pasut. Pasut sendiri dapat diprediksi karena sifatnya yang berlangsung secara periodik. Dalam memprediksi pasut dibutuhkan nilai amplitudo dan fase kelambatan pasut dari masing-masing komponen pembentuk pasut yang dapat disebut sebagai konstanta harmonik. Adapun konstanta harmonik yang digunakan dalam analisis pasang surut pada umumnya menggunakan 9 komponen pasut, yaitu : M_2 , S_2 , N_2 , K_2 , K_1 , O_1 , P_1 , M_4 , dan MS_4 . Dengan menganalisis amplitudo dari tiap komponen pasut tersebut, maka selanjutnya dapat digunakan untuk menentukan nilai bilangan Formzahl serta tipe pasut di suatu wilayah.

$$F = \frac{AK_1 + AO_1}{AM_2 + AS_2} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

- F : bilangan Formzahl
- O1 : amplitudo komponen pasut tunggal utama yang disebabkan gaya tarik bulan
- K1 : amplitudo komponen pasut tunggal utama yang disebabkan gaya tarik matahari
- M2 : amplitudo komponen pasut ganda utama yang disebabkan gaya tarik bulan
- S2 : amplitudo komponen pasut ganda utama yang disebabkan gaya tarik matahari

Klasifikasi tipe pasut dijabarkan pada tabel berikut:

Tabel 1. Klasifikasi pasut (Triatmojo, 2010)

Nilai F	Tipe Pasut
≤ 0.25	Harian ganda
0.25 – 1.50	Campuran condong ke harian ganda
1.5 – 3.0	Campuran condong ke harian tunggal
≥ 3.0	Harian tunggal

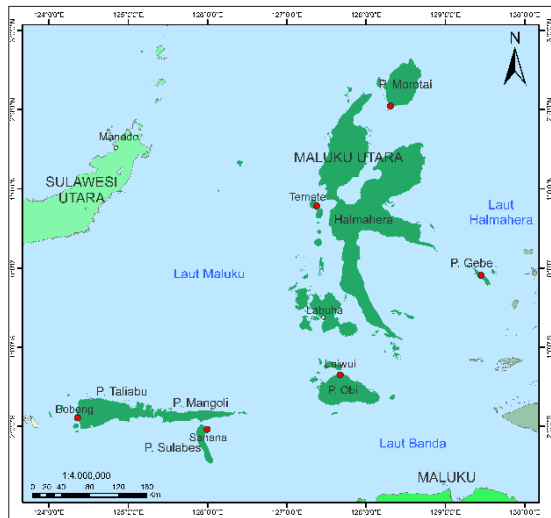
3. Metode Admiralty

Menurut Djaja (1989), metode Admiralty merupakan suatu metode analisis konstanta-konstanta pasut untuk menentukan rata-rata tinggi muka laut dengan cara menggunakan skema-skema perhitungan. Metode praktis ini awal mulanya ditemukan oleh Doodson pada tahun 1921 guna menganalisis pasut selama 15 atau 29 piantan untuk keperluan suatu kantor Hidrografi bernama British Admiralty (Fitriana dkk., 2019). Sama halnya dengan teknik analisis harmonik lainnya, konstanta harmonik dari pasut juga digunakan untuk perhitungan analisis dalam metode Admiralty. Komponen penting pada metode ini yaitu perhitungan nilai amplitudo dan fase kelambatan pasut (Supriyadi dkk., 2019). Dan dalam melakukan perhitungannya dapat menggunakan skema-skema atau tabel bantuan (Pariwono, 1989). Secara umum, tahapan perhitungan metode Admiralty menurut Fadilah dan Suripin (2014) dijabarkan dengan beberapa cara yakni berupa pengukuran muka laut harian, klasifikasi konstanta harmonik pasut, serta perhitungan matriks dari kombinasi data pasut terhadap tabel bantuan pengalinya.

METODE

Kajian ini menerapkan metode analisis secara kuantitatif. Yang artinya dalam menjawab permasalahan dalam kajian ini yakni dengan cara mengulas serta menjabarkan analisisnya menggunakan serangkaian perhitungan berdasarkan data yang diperoleh. Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu berupa data pengamatan pasang surut air laut. Data tersebut dihasilkan oleh 3 jenis sensor yaitu sensor 1 (*enc float sensor with encoder*)

gauge), sensor 2 (*pressure gauge*), dan sensor 3 (*radar gauge*). Dan data diperoleh secara online dari Badan Informasi Geospasial melalui laman <http://ina-sealevelmonitoring.big.go.id/>.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Studi wilayah dalam kajian ini berada di 6 titik stasiun pengamatan pasut di Provinsi Maluku Utara yang ditandai titik merah pada Gambar 1 dengan rincian sebagai berikut :

1. Stasiun Pengamatan Pasut Morotai dengan titik koordinat 2.01655 LU 128.28 BT;
2. Stasiun Pengamatan Pasut Gebe dengan titik koordinat 0.0773 LS 129.427 BT;
3. Stasiun Pengamatan Pasut Ternate dengan titik koordinat 0.7817 LU 127.388 BT;
4. Stasiun Pengamatan Pasut Laiwui dengan titik koordinat 1.34185 LS 127.655 BT;
5. Stasiun Pengamatan Pasut Sanana dengan titik koordinat 2.0568 LS 125.981 BT;
6. Stasiun Pengamatan Pasut Taliabu dengan titik koordinat 1.9511 LS 124.382 BT.

Studi waktu dalam penelitian ini yaitu selama satu bulan di bulan Januari 2021 dengan rentang waktu data per 1 jam dalam sehari (00 – 23 UTC).

Pengolahan data dalam penelitian ini menerapkan analisis harmonik pasang surut dengan metode Admiralty. Yang secara keseluruhan pengolahan datanya menggunakan Ms. Excel dengan menyortir data per-1 jam dengan penyajian waktu data menggunakan satuan waktu UTC. Data yang digunakan yakni 24 jam (00 – 23 UTC) selama 29 hari atau 29

piantan. Dan dari ketiga sensor alat pengukuran pasang surut yang disebutkan di awal, penelitian ini menggunakan data hasil pengukuran sensor 1 (*enc (float sensor with encoder) gauge*).

Skema 1. Meliputi data pengamatan pasang surut dengan satuan pengukuran tinggi muka laut berupa cm atau m berdasarkan waktu dan tanggal pengamatannya. Pada skema ini, data disusun dalam bentuk matriks (29 x 24).

Skema 2. Merupakan tabel hasil pengali Skema 1 terhadap Tabel 1 yang berisi jumlah perhitungan (+) dan (-) pada setiap nilai X1, Y1, X2, Y2, X4, dan Y4. Skema 2 dapat dilewati hingga menghasilkan Skema 3 yakni dengan mengalikan antara matriks Skema 1 dengan matriks transpose konstanta Tabel 1.

Skema 3. Berisi tabel hasil penjumlahan Skema 2. Untuk kolom X0 diperoleh dari penjumlahan X1 tanpa melihat tanda (+) dan (-). Untuk menghindari penjumlahan kolom X1, Y1, X2, Y2, X4, dan Y4 dengan hasil negatif, maka ditambahkan 2000.

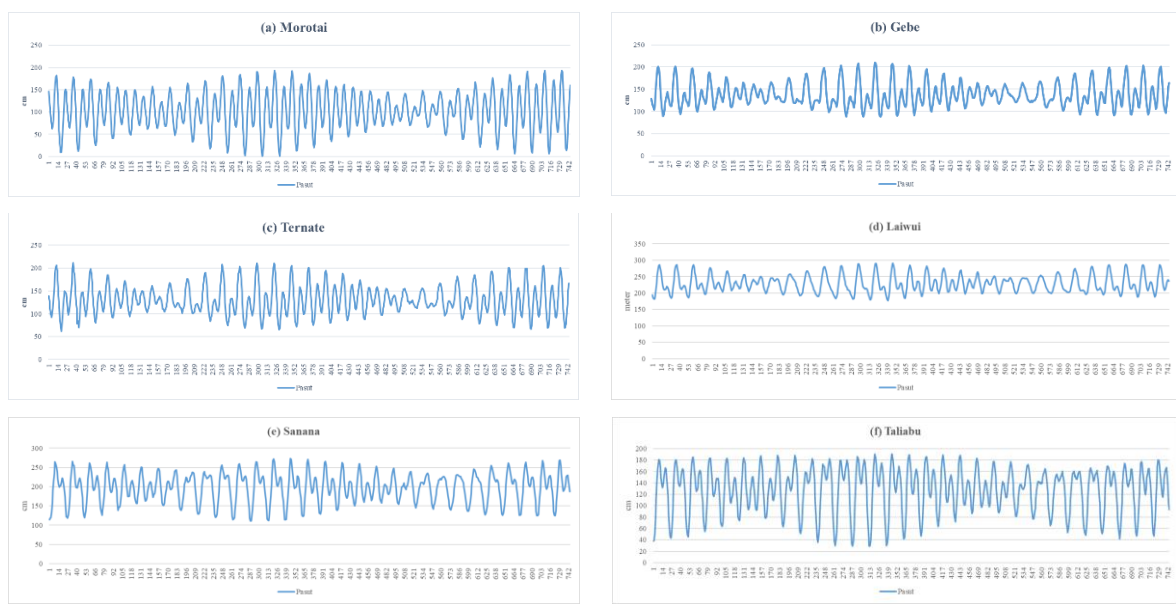
Skema 4. Merupakan tabel hasil perkalian antara tabel Skema 3 dengan Tabel 3 untuk mendapatkan nilai X dan Y.

Skema 5 dan 6. Skema 5 dan 6 masing-masing berisi 9 baris dan 9 kolom. Pada kolom 1 terdiri dari perhitungan dari Skema 4. Sedangkan pada kolom 2 hingga 9 berisi nilai-nilai koefisien perhitungan matriks dari Tabel 3. Skema 5 merupakan perhitungan untuk nilai PR cos r dan Skema 6 merupakan perhitungan untuk PR sin r.

Skema 7. Merupakan tabel untuk perhitungan setiap nilai komponen pasang surut.

Skema 8. Berisi tabel untuk menghitung (1+W) dan w untuk S2 dan MS4, K1, dan N2. Dan diperoleh penyajian hasil akhir nilai tiap konstanta komponen harmonik berupa nilai amplitudo (A) dan kelambatan fase (g).

Setelah menyelesaikan 8 skema tersebut diperoleh komponen harmonik pasut dan dilanjutkan dengan menentukan besaran nilai F dengan menggunakan persamaan 1. Dalam persamaan tersebut menggunakan komponen harmonik AK1, AO1, AM2, dan



Gambar 2. Grafik pasut di (a) Morotai, (b) Gebe, (c) Ternate, (d) Laiwui, (e) Sanana, dan (f) Taliabu

AS2. Selain itu, komponen-komponen harmonik pasut juga digunakan untuk menentukan parameter elevasi muka air rencana berupa MSL, HHWL, MHWL, MLWL, LLWL, HAT, dan LAT. Adapun rumus untuk menentukan parameter-parameter tersebut dijabarkan sebagai berikut:

$$MSL = S_0$$

$$Z_0 = M_2 + S_2 + N_2 + K_2 + K_1 + O_1 + P_1 + M_4 + MS_4$$

$$HHWL = S_0 + Z_0$$

$$MHWL = Z_0 + (M_2 + S_2)$$

$$MLWL = Z_0 - (M_2 + S_2)$$

$$LLWL = S_0 - Z_0$$

Di mana:

- MSL : rata-rata tinggi muka laut, yakni rata-rata antara tinggi dan rendahnya muka laut;
- HHWL : tinggi muka laut maksimum, yakni tinggi muka laut tertinggi ketika terjadi pasut purnama atau bulan mati;
- MHWL: rata-rata tinggi muka laut tertinggi, yakni rata-rata muka laut tertinggi selama periode 19 tahun;
- MLWL : rata-rata tinggi muka laut terendah, yakni rata-rata muka laut terendah selama periode 19 tahun;

LLWL : tinggi muka laut minimum, yakni tinggi muka laut terendah ketika terjadi pasut purnama atau bulan mati;

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis pasut di wilayah Maluku Utara ini bertujuan untuk memahami jenis atau tipe pasut yang terjadi di perairan wilayah tersebut dengan menerapkan metode Admiralty. Merujuk pada metode tersebut, maka hasil yang diperoleh dari perhitungan metode Admiralty adalah amplitudo dan fase kelambatan pasut melalui analisis harmonik. Dalam analisis ini menggunakan data sebanyak 29 piantan dengan mengambil data di bulan Januari 2021 pada tanggal 1 hingga 29. Dan data tersebut menggunakan data pengamatan pasut sensor 1 (*enc (float sensor with encoder) gauge*) dengan pengukuran per 1 jam. Kemudian dari data tersebut turut disajikan time series data ke bawah untuk analisis awal dari grafik pasang surut yang terukur yang dapat dilihat dari Gambar 2. Dari Gambar 2 terlihat bahwa pasut di 6 lokasi penelitian memiliki kesamaan berupa terjadinya dua kali pasang dan dua kali surut dengan besaran amplitudo pasut yang bervariasi.

Sebelum melakukan perhitungan dengan metode Admiralty, terlebih dahulu melakukan penyortiran data pasut. Data yang diperoleh dari laman website BIG <http://ina-sealevelmonitoring.big.go.id/ipasut/> berupa data per menit. Oleh karena itu, penyortiran data dilakukan dengan mengambil data per 1 jamnya. Dan penting dilakukan pengecekan data sebanyak 24 jam dalam sehari pengamatan dengan rentang waktu pukul 00 – 23 UTC. Apabila terdapat kekosongan data pada jam tertentu, untuk melengkapinya dapat menggunakan teknik interpolasi dengan

perhitungan rumus persamaan 2 sebagai berikut:

$$y = y_1 + (x - x_1) \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

- y_1 : pasut pada waktu awal (x_1)
- y_2 : pasut pada waktu kedua (x_2)
- y : nilai interpolasi pasut
- x_1 : waktu pada pengamatan awal
- x_2 : waktu pada pengamatan kedua
- x : nilai interpolasi waktu

Tabel 2. Konstanta Pengali Proses Harian 29 Piantan untuk Skema 2

X1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Y1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
X2	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1
Y2	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
X4	1	0	-1	-1	0	1	1	0	-1	-1	0	1	1	0	-1	-1	0	1	1	0	-1	-1	0
Y4	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1

Skema 1. Pada skema 1 meliputi data hasil pengamatan pasut yang penyusunannya berdasarkan tanggal pengamatan dan waktu (UTC). Kemudian penyajian data pasut tersebut disajikan dalam satuan pengukuran centimeter (cm). Dan data disusun dalam tabel bentuk matriks berukuran 29 x 24 karena pada penelitian ini menggunakan data 29 piantan dari tanggal 1 Januari 2021 hingga 29 Januari 2021.

Skema 2. Tahap skema 2 merupakan proses perkalian antara Skema 1 dengan Tabel 1 di setiap masing-masing hari data pengamatan. Tabel 1 terdiri dari X1, Y1, X2, Y2, X4, dan Y4 dengan deretan angka 1 dan -1 sebagai konstantanya. Adapun hasil perhitungan untuk skema 2 menghasilkan jumlah perhitungan berdasarkan bacaan data yang masuk kategori bernilai positif (+) dan bernilai negatif (-) sesuai pada Tabel 2.

Skema 3. Merupakan tabel yang berisi penjumlahan dari Skema 2 pada setiapkolom konstanta X0, X1, Y1, X2, Y2, X4, dan Y4 dalam setiap tanggal data pengamatan dengan rincian sebagai berikut:

- o Kolom X0 merupakan penjumlahan mendatar dari nilai X1 Skema 2 tanpa melihat tanda nilai positif (+) maupun negatif (-);

- o Sedangkan pada kolom X1, Y2, X2, Y2, X4, dan Y4 merupakan penjumlahan mendatar dari masing-masing komponen konstanta Skema 2 dengan melihat tanda nilai positif (+) dan negatif (-). Namun agar hasil penjumlahan tidak menghasilkan nilai negatif, maka dalam perhitungannya juga diikuti penambahan 2000.

Untuk mendapatkan nilai Skema 3 dapat dilakukan lebih ringkas melewati Skema 2 dengan cara mengalikan matriks Skema 1 terhadap matriks transpose konstanta Tabel 2 (Tabel 3) yang terdiri dari komponen X0, X1, Y1, X2, Y2, X4, dan Y4. Setiap baris komponen X0 memiliki nilai 1.

Skema 4. Perhitungan untuk skema 4 diperoleh dengan mengalikan nilai pada skema 3 terhadap tabel indeks konstanta pengali untuk skema 4 yang ditunjukkan pada Tabel 4. Tabel 4 terdiri dari 7 kolom dengan konstanta 0, 2, b, 3, c, 4, dan d dengan 29 baris ke bawah yang merupakan urutan tanggal pengamatan. Proses perhitungan untuk mendapatkan besaran nilai X dan Y yaitu dengan cara mengalikan setiap nilai komponen skema 3 terhadap masing-masing indeks konstanta pada Tabel 3 hingga mendapatkan 29 kombinasi kolom dari hasil

Tabel 3. Transpose Konstanta Pengali Proses Harian 29 Piantan untuk Skema 2

X0	X1	Y1	X2	Y2	X4	Y4
1	-1	-1	1	1	1	1
1	-1	-1	1	1	0	1
1	-1	-1	1	1	-1	1
1	-1	-1	-1	1	-1	-1
1	-1	-1	-1	1	0	-1
1	-1	-1	-1	1	1	-1
1	1	-1	-1	-1	1	1
1	1	-1	-1	-1	0	1
1	1	-1	-1	-1	-1	1
1	1	-1	1	-1	-1	-1
1	1	-1	1	-1	0	-1
1	1	-1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	1
1	1	1	1	1	-1	1
1	1	1	-1	1	-1	-1
1	1	1	-1	1	0	-1
1	1	1	-1	1	1	-1
1	-1	1	-1	-1	1	1
1	-1	1	-1	-1	0	1
1	-1	1	-1	-1	-1	1
1	-1	1	1	-1	-1	-1
1	-1	1	1	-1	0	-1
1	-1	1	1	-1	1	-1

Tabel 4. Tabel Indeks Konstanta Pengali untuk Skema 4

0	2	b	3	c	4	d
1	1	0	-1	1	1	0
1	1	-1	-1	1	1	-1
1	1	-1	1	1	-1	-1
1	1	-1	1	1	-1	-1
1	-1	-1	1	1	-1	1
1	-1	-1	1	-1	1	1
1	-1	-1	1	-1	1	1
1	-1	0	-1	-1	1	0
1	-1	1	-1	-1	1	-1
1	-1	1	-1	-1	-1	-1
1	-1	1	-1	1	-1	-1
1	1	1	-1	1	-1	1
1	1	1	1	1	-1	1
1	1	0	1	0	1	0
1	1	-1	1	-1	1	-1
1	1	-1	1	-1	-1	-1
1	1	-1	-1	-1	-1	-1
1	-1	-1	-1	-1	-1	1
1	-1	-1	-1	1	1	1
1	-1	0	-1	1	1	0
1	-1	1	1	1	1	-1
1	-1	1	1	1	1	-1
1	-1	1	1	1	-1	-1
1	1	1	1	-1	-1	1
1	1	1	1	-1	-1	1
1	1	0	-1	-1	1	0
1	1	0	-1	-1	1	0

akhir nilai X00 hingga Y4d. Kemudian nilai masing-masing kombinasi dijumlahkan berdasarkan kategori nilai positif ataupun negatif. Setelah diperoleh total nilai positif dan negatif, kemudian total nilai positif dikurangkan dengan total nilai negatif.

Skema 5 dan Skema 6. Pada skema 5 dan skema 6 adalah tahapan untuk mencari nilai-nilai komponen pasut S0, M2, S2, N2, K1, O1, M4, dan MS4. Yang membedakan kedua skema ini yakni bahwa skema 5 merupakan perhitungan dari kombinasi komponen skema 4 X00, X10, X12 – Y1b, X13 – Y1c, X20, X22 –

Y2b, X23 – Y2c, X42 – Y4b, dan X44 – Y4d. Lalu pada skema 6 merupakan perhitungan dari kombinasi komponen Y10, Y12 + X1b, Y13 + X1c, Y20, Y22 + X2b, Y23 + X2c, Y42 + X4b, dan Y44 + X4d. Kemudian hasil dari perhitungan-perhitungan tersebut dikalikan terhadap harga koefisien matriks untuk panjang data 29 hari atau 29 piantan yang disajikan ke dalam Tabel 4. Setelahnya dijumlahkan berdasarkan komponen pasut baik skema 5 dan skema 6. Sehingga diperoleh nilai PR cos r dari skema 5 dan nilai PR sin r dari skema 6.

Tabel 5. Harga koefisien matriks untuk panjang data 29 hari

		So	M2	S2	N2	K1	O1	M4	MS4
Skema V PR Cos r	X00 =	1							
	X10 =		0	0	0	1	-0.08	0	0
	X12 - Y1B =		0.07	0	0	-0.02	1	0	0.02
	X13 - Y1C =		0	0	0	0	0	0	0
	X20 =		-0.03	1	-0.03	0	0	0	0
	X22 - Y2B =		1	0.015	0.038	0.002	-0.058	0	-0.035
	X23 - Y2C =		-0.06	0	1	0	0	0	0
	X42 - Y4B =		0.03	0	0	0	0	0	1
	X44 - Y4D =		0	0	0	0	0	1	0.08
Skema VI PR Sin r	Y10 =		0	0	0	1	-0.08	0	0
	Y12 + X1B =		0.07	0	0	-0.02	1	0	0.03
	Y13 + X1C =		0	0	0	0	0	0	0
	Y20 =		-0.03	1	-0.03	0	0	0	0
	Y22 + X2B =		1	0.015	0.032	0	-0.057	0	-0.035
	Y23 + X2C =		-0.06	0	1	0	0	0	0
	Y42 + X4B =		0.03	0	0	0	0	0.01	1
	Y44 + X4D =		0	0	0	0	0	1	0.08
Harga Pembagi	PB	696	559	448	566	439	565	507	535
Harga Konstanta	PK		333	345	327	173	160	307	318

Skema 7. Tahapan perhitungan skema 7 memerlukan perhitungan yang kompleks yang disajikan menggunakan tabel untuk mencari nilai $PR \cos r$, $PR \sin r$, PR , f , $1+W$, V , u , w , r , s , g , dan A dari masing-masing

komponen harmonik pasut seperti pada skema 5 dan skema 6. Serta dalam perhitungannya juga disertakan nilai harga pembagi dan harga konstanta dalam prosesnya. Tabel 6 menampilkan penyajian dari Skema 7.

Tabel 6. Tabel skema 7

	So	M2	S2	N2	K1	O1	M4	MS4
1	V	$PR \cos r$						
2	VI	$PR \sin r$						
3		PR						
4	Harga Pembagi	: PK						
5	Hasil Hitung	: f						
6	Hasil Hitung	: $1+W$						
7	Hasil Hitung	V						
8	Hasil Hitung	u						
9	Hasil Hitung	w						
10	Harga Konstanta	: PB						
11	Hasil Hitung	: r						
12	Jumlah	: s						
13		g						
14		$PR / [P \times f \times (1 + W)] = A$						

Adapun perhitungannya dijabarkan sebagai berikut:

- Baris 1 menyajikan perhitungan $PR \cos r$ yang merupakan total penjumlahan dari tiap kolom komponen harmonik pasut pada skema 5.
- Baris 2 menyajikan perhitungan $PR \sin r$ yang merupakan hasil penjumlahan dari tiap kolom komponen harmonik pasut dari Skema 6.
- Baris 3 menyajikan PR yang diperoleh dari rumus : $PR = \sqrt{(PR \sin r)^2 + (PR \cos r)^2}$
- Baris 4 menyajikan PK yang merupakan bilangan harga pembagi pada Tabel 5.
- Baris 5 menyajikan nilai f yang diperoleh dari menghitung nilai s , h , p , dan N terlebih dahulu. Kemudian disubstitusikan pada persamaan-persamaan f dari tiap komponen harmonik pasut.
- Baris 6 menyajikan nilai $1+W$ yang merupakan hasil dari perhitungan Skema 8.
- Baris 7 menyajikan nilai V dari setiap persamaan komponen harmonik pasut.
- Baris 8 menyajikan nilai u dari setiap persamaan komponen harmonik pasut.
- Baris 9 menyajikan nilai w dari tiap komponen pasut yang diperoleh dari perhitungan pada skema 8.

- Baris 10 menyajikan PB yang merupakan bilangan harga konstanta pada Tabel 5.
- Baris 11 menyajikan nilai r yang diperoleh dengan rumus: $r = \arctan \frac{PR \sin r}{PR \cos r}$ yang mana nilainya disesuaikan dengan tanda kuadran yang memenuhi nilai tersebut yang disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 7. Pembagian Kuadran Nilai r

$PR \cos r$	$PR \sin r$	r
+	+	$0 < r < 90$
-	+	$90 < r < 180$
-	-	$180 < r < 270$
+	-	$270 < r < 360$

- Baris 12 menyajikan nilai s yang merupakan penjumlahan dari V , u , w , PB , dan r .
- Baris 13 menyajikan $g = s \times 360^\circ$. Yang mana untuk baris 13 diisikan nilai kelipatan 360° terhadap g .
- Baris 14 menyajikan nilai A yang diperoleh dengan rumus $A = \frac{PR}{PK f (1+W)}$

Skema 8. Merupakan tahapan untuk menghitung nilai $(1+W)$ dan nilai w pada baris 6 dan 9 skema 7 serta untuk menghitung nilai dari komponen harmonik pasut $S2$ dan $MS4$, $K1$, serta $N2$.

Dari penyelesaian 8 skema pada 6 lokasi penelitian tersebut, diperoleh hasil akhir

komponen harmonik pasut secara runtut berupa komponen S0, M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, M4, dan MS4 yang disajikan pada Tabel 8. Nilai-nilai komponen harmonik pasut dari 6 lokasi penelitian terlihat memiliki nilai yang bervariasi. Komponen S0 terendah ditunjukkan oleh lokasi Morotai dengan nilai amplitudo sebesar 102.9 sedangkan yang tertinggi ditunjukkan oleh lokasi Laiwui dengan nilai amplitudo sebesar 228.9. Dan pada komponen S0 tidak memiliki nilai kelambatan fase. Pada 9

komponen harmonik lainnya memiliki nilai amplitudo (A) dan kelambatan fase (g) dengan besaran nilai yang sangat bervariasi pada 6 lokasi penelitian seperti yang terlihat pada Tabel 6.

Dari hasil di atas kemudian dihitung besaran nilai F atau bilangan Formzahl dengan menerapkan persamaan 2. Adapun hasil perhitungan untuk nilai F dari 6 lokasi penelitian yakni disajikan pada Tabel 9.

Tabel 8. Hasil akhir perhitungan pada 6 lokasi penelitian

HASIL AKHIR LOKASI MOROTAI										
	So	M2	S2	N2	K2	K1	O1	P1	M4	MS4
A cm	102.9	50.2	23.6	8.0	5.4	17.1	11.7	5.6	0.3	0.3
g		283.8	316.0	270.7	316.0	88.1	77.9	88.1	147.4	165.4

HASIL AKHIR LOKASI GEBE										
	So	M2	S2	N2	K2	K1	O1	P1	M4	MS4
A cm	138.0	23.2	17.2	3.2	4.0	17.0	11.2	5.6	1.1	0.4
g		250.9	296.5	209.6	296.5	122.1	104.3	122.1	16.5	60.6

HASIL AKHIR LOKASI TERNATE										
	So	M2	S2	N2	K2	K1	O1	P1	M4	MS4
A cm	130.8	31.5	21.8	3.2	5.0	17.1	9.9	5.6	0.7	0.8
g		274.7	312.8	237.0	312.8	126.7	115.6	126.7	143.4	207.3

HASIL AKHIR LOKASI LAIWUI										
	So	M2	S2	N2	K2	K1	O1	P1	M4	MS4
A cm	228.9	16.8	13.9	3.3	3.2	19.9	13.1	6.6	0.2	0.2
g		220.7	293.1	145.3	293.1	152.9	137.6	152.9	311.9	359.3

HASIL AKHIR LOKASI SANANA										
	So	M2	S2	N2	K2	K1	O1	P1	M4	MS4
A cm	197.3	30.8	13.9	7.2	3.2	28.4	17.1	9.4	0.7	0.3
g		167.7	248.2	129.7	248.2	166.3	152.5	166.3	24.5	329.9

HASIL AKHIR LOKASI TALIABU										
	So	M2	S2	N2	K2	K1	O1	P1	M4	MS4
A cm	127.8	35.9	10.4	8.9	2.4	28.2	16.4	9.3	0.6	0.9
g		138.5	216.8	103.4	216.8	167.4	149.9	167.4	163.3	214.5

Tabel 9. Nilai Formzahl dari 6 lokasi penelitian

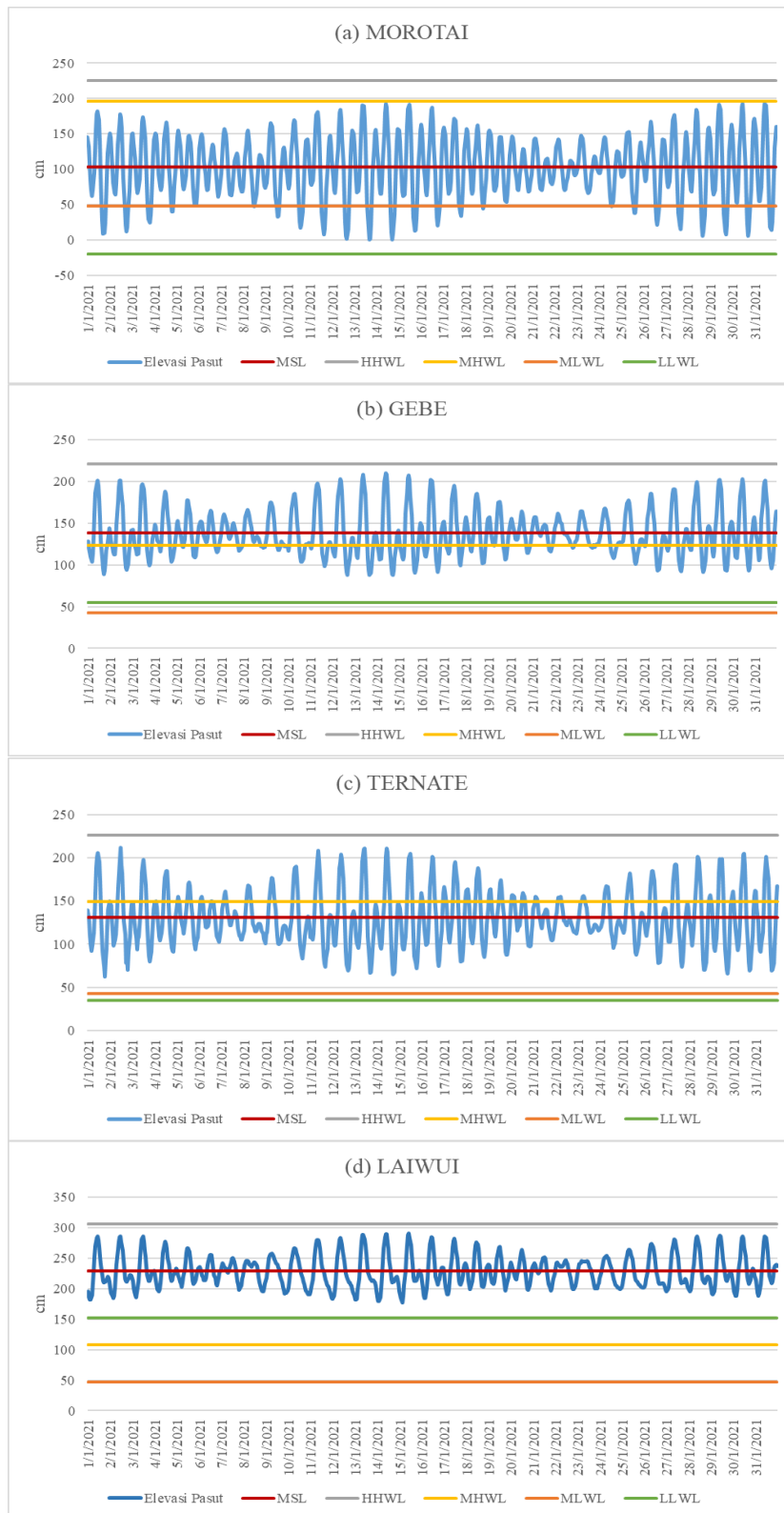
Lokasi	Nilai Formzahl
Morotai	0.39
Gebe	0.70
Ternate	0.51
Laiwui	1.07
Sanana	1.02
Taliabu	0.96

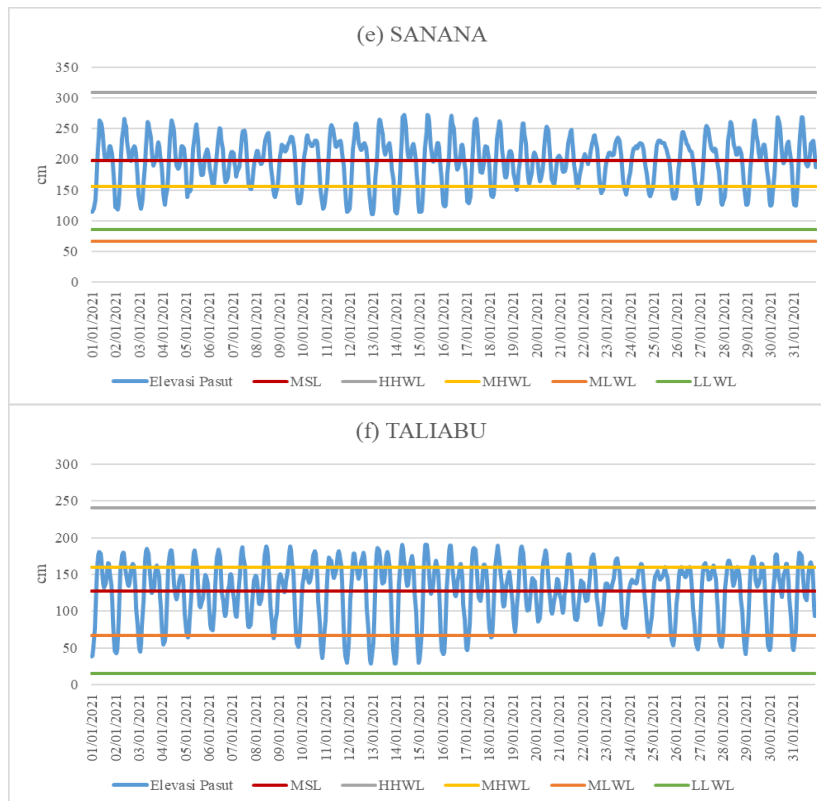
Dari 6 lokasi penelitian tersebut, yang menunjukkan nilai F terkecil ditunjukkan oleh lokasi Morotai dengan nilai F sebesar 0.39. Kemudian secara berurutan diikuti oleh Ternate, Gebe, Taliabu, Sanana, dan Laiwui memiliki nilai F tertinggi sebesar 1.07. Dan dari hasil tersebut juga mengimplikasikan adanya kesamaan yakni memiliki rentang nilai F lebih dari 0.25 dan kurang dari 1.5. Artinya pada 6

lokasi penelitian tersebut memiliki tipe pasang surut campuran condong ke harian ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*). Penelitian ini memberikan hasil yang sama dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Pasomba, dkk. (2019) dengan lokasi penelitian di Ternate, Maluku Utara. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti titik penempatan stasiun pengamatan pasut yang tentunya memiliki karakteristik morfologi pantai yang beragam, kemudian dapat juga dipengaruhi oleh perbedaan kompleks kondisi batimetri yang menentukan perambatan pasut (seperti adanya palung, selat, maupun laut dangkal dan dalam). Oleh karena itu, pasut yang terjadi akan memiliki pola tertentu dan beragam (Fitriana, dkk., 2019; Ongkosongo, 1989).

Dengan menggunakan nilai-nilai komponen harmonik pasut di atas (Tabel 8), maka dapat diketahui besaran parameter elevasi

muka air rencana yang dijabarkan dalam Tabel 10 berikut:





Gambar 3. Elevasi Muka Air Rencana di (a) Morotai, (b) Gebe, (c) Ternate, (d) Laiwui, (e) Sanana, dan (f) Taliabu

Tabel 10. Parameter Elevasi Muka Air Rencana Pada Lokasi Penelitian

	Morotai	Gebe	Ternate
Z0	122.25	82.91	95.68
MSL	102.86	137.99	130.84
HHWL	225.11	220.91	226.51
MHWL	196.01	123.29	148.99
MLWL	48.49	42.54	42.36
LLWL	-19.39	55.08	35.16
	Laiwui	Sanana	Taliabu
Z0	77.23	110.98	113.02
MSL	228.92	197.27	127.80
HHWL	306.15	308.24	240.82
MHWL	107.99	155.73	159.33
MLWL	46.46	66.22	66.71
LLWL	151.69	86.29	14.78

Dan dari nilai-nilai elevasi muka air rencana di atas diperoleh grafik pasut untuk masing-masing lokasi penelitian yang disajikan dalam Gambar 3. Dari grafik tersebut terlihat bahwa elevasi muka air rencana di 6 lokasi tersebut

sangat bervariasi dan fluktuatif. Hal ini disebabkan oleh panjang data yang cukup pendek yakni 1 bulan (29 piantan). Yang mana panjang data ini secara teoritis akan lebih memberikan hasil yang valid apabila menggunakan panjang data selama 18.6 tahun. Lamanya panjang data tersebut merupakan periode pengulangan pasut dengan menerapkan perhitungan olah data pasut yang serupa. Hal ini erat kaitannya dengan periode pergeseran titik tanjak dan titik turun bulan yang terjadi selama 18.6 tahun. Dan juga hal ini untuk memverifikasi terjadinya pasut terendah dengan panjang waktu 18.6 tahun berada dalam satu fase periode gelombang (Fadilah, dkk., 2014; Hasibuan, 2009).

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian di atas, maka analisis pasut dengan perhitungan metode Admiralty di wilayah Maluku Utara khususnya pada 6 lokasi penelitian yang berada di Morotai, Gebe, Ternate, Laiwui, Sanana, dan Taliabu

dapat disimpulkan memiliki kesamaan tipe pasang surut berupa campuran condong ke harian ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*). Hal ini dibuktikan dengan nilai Formzahl pada lokasi tersebut yang memiliki rentang nilai sebesar $0.25 < F < 1.5$. Di mana nilai F di Morotai sebesar 0.39, di Gebe sebesar 0.7, di Ternate sebesar 0.51, di Laiwui sebesar 1.07, di Sanana sebesar 1.02, dan di Taliabu sebesar 0.96. Sedangkan tinggi muka laut pada lokasi tersebut secara berurutan di Morotai, Gebe, Ternate, Laiwui, Sanana, dan Taliabu memiliki tinggi muka laut atau MSL sebesar 102.86; 137.99; 130.84; 228.92; 197.27; dan 127.80. Kemudian terdapat *Highest High Water Level* (HHWL) yang merupakan puncak pasang tertinggi dari total keseluruhan periode pasang yang terjadi terhadap MSL dengan besaran nilai HHWL sebesar Morotai 225.11; Gebe 220.91; Ternate 226.51; Laiwui 306.15; Sanana 308.24; dan Taliabu 240.82. Lalu *Lowest Low Water Level* (LLWL) merupakan surut paling rendah yang terjadi dari total keseluruhan periode pasang terhadap MSL dengan besaran nilai LLWL yaitu Morotai -19.39; Gebe 55.08; Ternate 35.16; Laiwui 151.69; Sanana 86.29; dan Taliabu 14.78.

Variasi yang terjadi pada tiap-tiap lokasi penelitian terjadi karena faktor tata penempatan stasiun pengamatan pasut dengan perbedaan karakteristik morfologi pantai yang beragam di tiap tempat. Selain itu, perbedaan kompleks kondisi batimetri memiliki pengaruh dalam perambatan pasut (seperti adanya palung, selat, maupun laut dangkal dan dalam). Akibatnya pasut yang terjadi di tiap tempat akan memiliki pola tertentu dan beragam (Fitriana, dkk., 2019; Ongkosongo, 1989). Selain itu, karena penggunaan panjang data dalam penelitian ini yang cukup pendek yakni 1 bulan (29 piantan). Hasil penelitian akan lebih valid apabila menggunakan panjang data selama 18.6 tahun secara teoritisnya. Jangka waktu tersebut merupakan periode terjadinya pengulangan pasut dengan menerapkan perhitungan olah data pasut yang serupa. Yang mana berkaitan dengan pergeseran titik tanjak

dan titik turun bulan yang terjadi selama 18.6 tahun. Sehingga dapat digunakan untuk verifikasi terjadinya pasut terendah dengan panjang waktu 18.6 tahun dalam satu fase periode gelombang (Fadilah, dkk., 2014; Hasibuan, 2009).

DAFTAR PUSTAKA

- Azis, F. 2006. Gerak Air di Laut. *Oseana*, 31(4), 9–21. Retrieved from www.oseanografi.lipi.go.id
- Badan Pusat Statistik Provinsi Maluku Utara. 2008. Maluku Utara dalam angka 2008. Kerjasama BAPPEDA dan BPS Provinsi Maluku Utara, 368 hlm.
- BIG. (n.d.a.). Info Model Pasut. Diakses dari: website <https://srgi.big.go.id/>. [10 Maret 2022].
- Byun, D.S., Wang, X.H., Holloway, P.E., 2004. *Tidal characteristic adjustment due to dyke and seawall construction in the Mokpo Coastal Zone, Korea, Estuarine, Coastal and Shelf Science* 59 (2004) : 185-196
- Djaja, Rochman, 1989. Makalah : Cara Perhitungan Pasut Laut Dengan Metode Admiralty, PASANG-SURUT, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi, Jakarta.
- Dronkers, J. J. 1964. *Tidal Computations in rivers and coastal waters*. North-Holland Publishing Company. Amsterdam
- Duxbury, A., Alyn, B., Duxbury, C., dan Sverdrup, K.A. 2002. *Fundamentals of Oceanography-4th Ed*, McGraw-Hill Publishing, New York.
- Fadilah, Suripin, Sasongko, D. P. 2014. Menentukan Tipe Pasang Surut dan Muka Air Rencana Perairan Laut Kabupaten Bengkulu Tengah Menggunakan Metode Admiralty. 6(1), 1–12.
- Fitriana D, Oktaviani N, Khasanah, I. U. 2019. Analisa Harmonik Pasang Surut Dengan Metode Admiralty Pada Stasiun Berjarak

- Kurang Dari 50 Km. *Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika*: 38–48.
- Gregory, J. M., Griffies, S. M., Hughes, C. W., Lowe, J. A., Church, J. A., Fukimori, I., ... van de Wal, R. S. W. 2019. *Concepts and Terminology for Sea Level: Mean, Variability and Change, Both Local and Global. In Surveys in Geophysics* (Vol. 40).
- Hasibuan, P., Gading, 2009. Skripsi : Analisis Surut Astronomis Terendah Di Perairan Sabang, Sibolga, Padang, Cilacap, Dan Benoa Menggunakan Superposisi Komponen Harmonik Pasang Surut, Program Studi Ilmu Dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor
- Pariwono. 1989. *Gaya Penggerak Pasang Surut*. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. 13-23 hlm.
- Pasomba, T., Jasin, M. I., dan Jansen, T. 2019. Analisis Pasang Surut Pada Daerah Pantai Tobololo Kelurahan Tobololo Kota Ternate Provinsi Maluku Utara. *Jurnal Sipil Statik*, 7(11), 1515–1526.
- Supriyadi E, Siswanto S, Pranowo, WS. 2019. Karakteristik Pasang Surut di Perairan Pameungpeuk, Belitung, dan Sarmi Berdasarkan Metode Admiralty. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika* 19(1): 29–38.
- Triatmodjo, B. 1999. *Teknik Pantai*. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta. Hal 99-101.
- Triatmodjo, B. 2010. *Perencanaan Pelabuhan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Wyrтки, K. 1961. *Physical Oceanography of the South East Asian Waters. Naga Report Vol. 2 Scripps, Institute Oceanography, California*.