

Acquisition of Tidal Measurement Data in The Waters Around Bitung City For Predictional Purposes

(Akuisisi Data Pengukuran Pasang Surut di Perairan Sekitar Kota Bitung
Untuk Keperluan Prediksi)

Vanessa Wuwung¹, Royke M. Rampengan^{2*}, Hermanto W.K. Manengkey²,
Robert A. Bara², Rignolda Djamaluddin², Fitje Losung²

¹Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Sam Ratulangi,
Manado 95115 Sulawesi Utara, Indonesia

²Staf Pengajar Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Sam Ratulangi Jl. Kampus
Unsrat Bahu, Manado 95115 Sulawesi Utara, Indonesia

*Corresponding author: roy_rampengan@unsrat.ac.id

Manuscript received: 19 June 2023. Revision accepted: 25 August 2023

Abstract

The existence of the waters around the city of Bitung with all its intensive utilization makes information regarding tidal conditions very important to continue to study. In the waters around Bitung City, there are two tidal measurement stations, the BMKG station, and the IOC station. This research was conducted to analyze the accuracy of tide prediction results based on measurement data at two tide stations located in the waters around Bitung City. The research was conducted by applying the least squares method to calculate the amplitude and phase of the tidal harmonic constants, followed by predicting tidal data. The result was that the most accurate predictions were obtained through a study of tidal data from IOC measurement stations in March–April 2021 with an average deviation of 4.35 cm. However, tide predictions using BMKG measurement station data are more consistent with an average deviation of ± 5 cm, compared to the average deviation of tide predictions from IOC measuring stations which vary from 4.35 – 27.67 cm.

Keywords: *Tidal prediction, Tidal constants, Tidal amplitude, Mean sea level*

Abstrak

Keberadaan perairan sekitar Kota Bitung dengan semua pemanfaatan intensifnya menyebabkan informasi menyangkut kondisi pasang surut sangat penting untuk terus dikaji. Di perairan sekitar Kota Bitung terdapat dua stasiun pengukuran pasang surut, yaitu stasiun BMKG dan stasiun IOC. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan menganalisis akurasi hasil prediksi pasut berdasarkan data hasil pengukuran di dua stasiun pasut yang berlokasi di perairan sekitar Kota Bitung. Penelitian dilakukan dengan menerapkan metode kuadrat terkecil untuk menghitung amplitudo dan fase konstanta harmonik pasang surut, dilanjutkan dengan melakukan prediksi data pasut. Hasilnya diperoleh bahwa prediksi yang paling akurat diperoleh melalui kajian data pasut stasiun pengukuran IOC pada bulan Maret–April 2021 dengan deviasi rata-rata sebesar 4,35 cm. Walaupun demikian prediksi pasut menggunakan data stasiun pengukuran BMKG lebih konsisten dengan deviasi rata-rata ± 5 cm, dibandingkan dengan deviasi rata-rata prediksi pasut stasiun pengukuran IOC yang bervariasi dari 4,35 – 27,67 cm.

Kata Kunci : *Prediksi pasut, Konstanta pasut, Amplitudo pasut, Duduk tengah muka laut*

PENDAHULUAN

Dinamika sistem pasang surut (pasut) penting dipelajari baik dari sudut pandang ekologi dan untuk alasan sosial ekonomi (Stive and Wang, 2003). Dijelaskan oleh Menn (2012) bahwa penentuan ketinggian air laut adalah informasi penting di berbagai bidang: navigasi, hidrolika, batimetri, dan lain-lain.

Wilayah pantai telah dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan, sebagai lahan pemukiman dan industri (Bawangun, *dkk.* 2013). Hampir tidak ada pemanfaatan yang dilakukan di ruang pantai yang tidak membutuhkan informasi mengenai pasut (Rampengan, 2013). Data pasut dapat dijadikan sebagai referensi dan atau informasi pendukung dalam suatu

perencanaan yang berkaitan dengan pemanfaatan ruang pantai.

Pasut didefinisikan sebagai gerakan vertikal naik dan turunnya permukaan laut oleh gelombang pasang dan arus pasut yang merupakan gerakan horizontal dari partikel air yang menyertai kejadian pasut (Yanagi, 1999). Menurut Steacy (2006), penentuan pasut biasanya dibatasi pada naik turunnya massa air secara vertikal dan biasanya terjadi dua kali dalam satu hari. Naik dan turunnya pasut yang terjadi sekali atau dua kali sehari dan variasi jangka panjangnya adalah yang paling dapat diprediksi dari semua fenomena oseanografi (Talley, et al. 2011).

Pasut dibangkitkan oleh gaya gravitasi benda-benda angkasa yang disebut sebagai *Astronomical Tides* (Garrison, 2009). Adanya gaya tarik-menarik benda-benda di langit, terutama Matahari dan Bulan terhadap massa air laut di Bumi menyebabkan terjadinya naik turunnya permukaan air laut secara periodik yang kemudian didefinisikan sebagai pasut (Nybakken, 1992; Triatmodjo, 1999). Dijelaskan oleh Stewart (2008) dan Pinet (2009) bahwa pasut air laut di Bumi disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu gaya gravitasi dan gaya sentrifugal.

Kajian menyangkut pasut, menurut Steacy (2006) dan Garrison (2009) sebenarnya termasuk telah bentuk dari gelombang. Pasut merupakan gelombang yang memiliki panjang gelombang sangat panjang dan mengakibatkan terjadinya naik turunnya permukaan laut secara teratur yang diamati di sebagian besar garis pantai (Muller and Storch, 2004). Gerakan naik turun muka air laut ini menyatakan adanya gerak gelombang. Lamanya naik dan turun (periodenya 12 atau 24 jam) merupakan gelombang yang terjadi pada periode yang lama akibat dari panjang gelombang yang besar. Gelombang pasut memiliki panjang gelombang yang sangat besar, sampai ratusan kilometer (Sulaiman dan Soehardi, 2008).

Laut sebagai penghubung antar berbagai wilayah merupakan objek penting untuk negara Indonesia, salah satunya adalah perairan laut di sekitar Kota Bitung, Provinsi Sulawesi Utara. Kota Bitung meletakkan sumber utama pendapatannya

pada pemanfaatan laut beserta sumber daya di dalamnya, khususnya pada pemanfaatan perairan pantai di sekitar Kota Bitung yang dapat dikategorikan sebagai salah satu yang paling intensif di kawasan perairan Sulawesi Utara.

Data prediksi pasut dihasilkan melalui pengolahan yang dilakukan berdasarkan data hasil observasi. Pada era digital sekarang ini baik pengukuran, pengamatan dan pengolahan data terkait hidrodinamika laut, operasi manual secara pasti akan digantikan dengan pengamatan secara otomatis. Penggantian ke pengamatan otomatis dimaksudkan untuk mempercepat pengiriman data, meningkatkan resolusi data dalam waktu, mengurangi human error, menurunkan biaya operasional dengan mengurangi jumlah pengamat, dan menjangkau tempat-tempat yang tidak tersedia jaringan stasiun berawak (Haryoko, 2014).

Data pasut di kawasan perairan sekitar Kota Bitung tersedia dari beberapa sumber yang aktif menyediakan data hasil pengukuran. Di antaranya terdapat dua lokasi pengukuran dari dua instansi berbeda yang sama-sama menyediakan data pengukuran pasut hasil pencatatan dengan peralatan pengukur otomatis. Kedua stasiun pengukuran pasut tersebut adalah Stasiun pasut BMKG dan IOC.

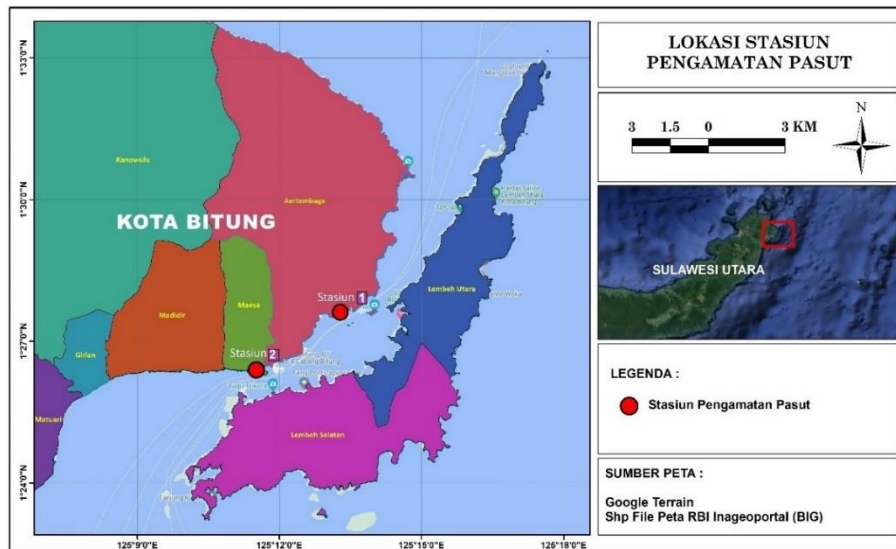
Nilai guna dari data hasil prediksi pasut tentunya akan sangat berhubungan dengan akurasi dari prediksi yang dilakukan. Akurasi terhadap data prediksi pasut, antara lain ditentukan atau sangat berhubungan dengan kualitas data hasil pengukuran. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan menganalisis akurasi hasil prediksi pasut berdasarkan data hasil pengukuran di dua stasiun pasut yang berlokasi di perairan sekitar Kota Bitung.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan data hasil pengukuran dua stasiun pasut yang berlokasi di perairan sekitar Kota Bitung. Kedua stasiun pasut tersebut adalah stasiun pengukuran BMKG dengan peralatan AWS (*Automatic Weather Station*) Maritim yang terletak di Dermaga Navigasi Kelas I Bitung (posisi koordinat 1°27'32"U dan 125°13'02"T), dan

stasiun kedua *Sea Level Station Monitoring Facility* milik *Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO (IOC)* di pelabuhan Samudera Bitung (posisi koordinat $1^{\circ}26'24''\text{U}$ dan $125^{\circ}11'29''\text{T}$). Lokasi stasiun pengukuran pasut, ditampilkan pada Gambar 1.

Penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan ketersediaan data hasil pengukuran pasut pada dua stasiun pengukuran di perairan sekitar Kota Bitung. Oleh karena itu, data yang dipergunakan dalam penelitian ini menyesuaikan dengan faktor ketersediaan data pada dua stasiun tersebut.



Gambar 1. Peta Lokasi Stasiun Pengukuran Pasut

Data pasut hasil observasi stasiun pengukuran BMKG di perairan sekitar Kota Bitung yang dipergunakan menurut ketersediaannya adalah dari bulan Oktober 2022 sampai dengan bulan Februari 2023. Data pasut hasil observasi stasiun pengukur IOC yang dipergunakan, menurut ketersediaannya adalah data bulan Februari sampai Mei 2021, data bulan Agustus dan September 2021, serta data bulan September dan Oktober 2022.

Konstanta harmonik yang digunakan terdiri dari 9 konstanta pasut utama yang terdiri dari 4 konstanta semi-diurnal, 3 konstanta diurnal, dan 2 konstanta perairan dangkal. Konstanta-konstanta pasut yang disertakan dalam perhitungan tersebut adalah M_2 , S_2 , K_2 , N_2 , K_1 , O_1 , P_1 , M_4 , dan MS_4 .

Pengolahan data dilakukan menggunakan metode kuadrat terkecil. Solusi didapatkan dengan menggunakan persamaan linier yang akan menghasilkan tinggi muka laut rata-rata (Z_0 , dalam satuan m), serta amplitudo (m) dan fase ($^{\circ}$) dari tiap-tiap komponen pasut.

Bentuk dasar formula persamaan linier yang digunakan dalam perhitungan adalah:

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

Dengan penyederhanaan bentuk:

$$A_n = H_n \cos(g_n)$$

$$B_n = H_n \sin(g_n)$$

Maka persamaannya menjadi:

$$ht_i = Z_0 + \sum_1^n A_n \cos(\omega_n t_i) - \sum_1^n B_n \sin(\omega_n t_i)$$

Di mana:

- ht_i = Elevasi pasut fungsi waktu ke-i
- H_n = Amplitudo komponen ke-n
- ω_n = $2\pi/T_i$ (kecepatan sudut) Konstanta ke-n
- g_n = Fase komponen ke-n
- Z_0 = Duduk tengah muka laut (MSL)
- t = Waktu
- n = Jumlah konstanta harmonik pasut

Persamaan yang ada diselesaikan dengan operasi matriks, karena tinggi muka laut dan periode konstanta harmonik pasut berbentuk seri data. Persamaan matriks terdiri dari matriks data pengukuran tinggi muka laut (matriks observasi), matriks yang dibentuk dari kecepatan sudut tiap konstanta pasut pada deret

waktu tertentu (matriks parameter), dan matriks untuk keperluan mendeterminasi besaran amplitudo dan fase tiap konstanta harmonik pasut (matriks koefisien). Bentuk persamaan matriksnya adalah:

$$\begin{bmatrix} ht_1 \\ ht_2 \\ \vdots \\ ht_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \cos(\omega_1 t_1) & -\sin(\omega_1 t_1) & \cdots & \cos(\omega_n t_1) & -\sin(\omega_n t_1) \\ 1 & \cos(\omega_1 t_2) & -\sin(\omega_1 t_2) & \cdots & \cos(\omega_n t_2) & -\sin(\omega_n t_2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \cos(\omega_1 t_x) & -\sin(\omega_1 t_x) & \cdots & \cos(\omega_n t_x) & -\sin(\omega_n t_x) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} Z_0 \\ A_1 \\ B_1 \\ \vdots \\ A_n \\ B_n \end{bmatrix}$$

Besaran amplitudo dan fase tiap konstanta harmonik pasut diperoleh dengan formula:

$$H_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2}$$

$$g_n = \arctg \frac{B_n}{A_n}$$

Di mana:

H_n = Amplitudo konstanta harmonik pasut ke-n (mm)

g_n = Fase konstanta harmonik pasut ke-n ($^{\circ}$)

A_n dan B_n = nilai pada matriks koefisien

Prediksi data pasut dilakukan dengan membalikkan operasi matriks, yaitu mengalikan matriks parameter dengan matriks koefisien untuk deret waktu yang diinginkan.

Besaran Amplitudo dan fase dari tiap konstanta harmonik adalah produk yang diperoleh dari pengaplikasian metode kuadrat terkecil pada data hasil observasi pasut. Nilai Amplitudo dan fase yang diperoleh dari perhitungan setiap bulan, baik untuk data dari BMKG dan IOC, dideskripsikan dan dibandingkan.

Analisis data juga dilakukan dengan mengevaluasi data hasil prediksi pasut terhadap data hasil pengukuran dengan perhitungan rata-rata bias keseluruhan dengan menerapkan formula sederhana yang dimodifikasi dari Spiegel dan Stephens (1999), yaitu :

$$MD = \frac{\sum |X_p - X_o|}{N}$$

Di mana:

MD = Mean Deviation (rata-rata bias)

X_p = Data pasut hasil prediksi

X_o = Data pasut hasil observasi

N = Jumlah data

Keakuratan data hasil prediksi juga dianalisis dengan cara membandingkan selisih nilai hasil prediksi terhadap hasil observasi pada beberapa kelas ukuran yang dibentuk.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Duduk tengah muka laut merupakan variabel yang sangat penting dalam analisis pasut perairan. Dinyatakan dalam UNESCO (2006) bahwa penentuan duduk tengah muka laut (Z_0) dan tren jangka panjangnya mungkin merupakan komponen yang paling bermakna dari kumpulan data *tide gauge* (alat pengukur pasut).

Z_0 bulanan di perairan sekitar Kota Bitung memiliki perubahan yang relatif berbeda menurut kajian yang dilakukan terhadap data beberapa bulan yang diukur dari dua stasiun pengukuran berbeda. Perubahan nilai Z_0 yang dihitung bersumber dari data stasiun pengukuran BMKG memiliki variasi yang jauh lebih kecil dibanding data stasiun pengukuran IOC. Hal tersebut tampak dari besarnya nilai deviasi yang dihitung berdasarkan perubahan Z_0 bulanan.

Tren jangka panjang tinggi muka air laut besarnya sekitar 1 mm per tahun (UNESCO, 2006). Sekalipun dalam penelitian ini yang dihitung adalah Z_0 bulanan, sehingga perubahan nilainya akan relatif lebih besar dibanding perubahan tahunan, tetapi perubahan tersebut tidaklah akan sangat besar. Perubahan nilai Z_0 bulanan untuk seri data stasiun pengukuran BMKG yang terbesar diperoleh dari nilai bulan Desember 2022 – Januari 2023 yaitu sebesar 1,3 cm. Angka tersebut sangat kecil jika dibandingkan dengan perubahan bulanan Z_0 untuk seri data stasiun pengukuran IOC yang sebesar 4,3 cm pada April – Mei 2021; 5,4 cm pada Agustus – September 2021; dan 27,2 cm pada September – Oktober 2022. Rincian hasil perhitungan Z_0 serta amplitudo dan fase tiap konstanta harmonik pasut, disajikan pada Tabel 1.

Amplitudo setiap konstanta pasut adalah variabel yang sangat penting karena merupakan penentu kejadian pasut di suatu perairan. Hasil perhitungan amplitudo masing-masing konstanta pasut, baik untuk data dari stasiun pengukuran BMKG maupun IOC, berbeda setiap bulannya. Perubahan nilai amplitudo bulanan setiap konstanta pasut ditunjukkan melalui besarnya nilai deviasi. Amplitudo rata-rata dan deviasi bakunya ditampilkan pada Tabel 2.

Perbedaan terbesar tampak pada deviasi nilai amplitudo konstanta M_2 (konstanta pasut M_2 dapat dikatakan sebagai variabel pasut terpenting karena umumnya merupakan penyumbang amplitudo terbesar pada kejadian pasut di perairan). Hasil perhitungan data stasiun pengukuran BMKG amplitudo konstanta M_2 diperoleh nilai rata-rata $34,1 \pm 0,8$ cm dan stasiun pengukuran IOC $32,3 \pm 2,7$ cm.

Perhitungan amplitudo konstanta pasut M_2 dengan data dari stasiun pengukur

BMKG menghasilkan keluaran yang lebih konsisten dibanding data stasiun pengukuran IOC. Rampengan (2013) menghitung amplitudo konstanta M_2 perairan sekitar Kota Bitung menggunakan metode Admiralty berdasarkan data September 2008 – Agustus 2009 hasil pengukuran BMKG bekerjasama dengan BAKOSURTANAL, mendapatkan nilai rata-rata dan deviasi sebesar $34,8 \pm 0,7$ cm.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Nilai Amplitudo dan Fase Tiap Konstanta Harmonik Pasut.

Konstanta	Stasiun BMKG					Stasiun IOC								
	Okt'22	Nov'22	Des'22	Jan'23	Feb'23	Feb'21	Mar'21	Apr'21	Mei'21	Ags'21	Sep'21	Sep'22	Okt'22	
Z_0	1,149	1,148	1,160	1,173	1,166	2,515	2,502	2,503	2,460	2,486	2,540	2,271	1,999	
M_2	A	0,346	0,348	0,346	0,334	0,332	0,330	0,324	0,344	0,342	0,341	0,339	0,288	0,275
	F	51,700	17,149	6,144	332,169	295,304	91,760	129,829	96,333	81,873	359,622	321,813	64,857	54,556
S_2	A	0,217	0,212	0,227	0,266	0,300	0,236	0,225	0,242	0,210	0,233	0,240	0,141	0,168
	F	133,860	141,178	129,161	120,933	123,074	127,434	132,121	135,492	129,902	129,836	146,972	139,239	134,081
N_2	A	0,042	0,043	0,057	0,062	0,054	0,041	0,050	0,054	0,056	0,036	0,040	0,031	0,021
	F	96,532	9,377	327,239	262,581	185,941	135,614	169,531	98,966	71,525	217,049	134,877	137,531	120,579
K_2	A	0,128	0,085	0,090	0,076	0,040	0,044	0,074	0,052	0,105	0,038	0,080	0,122	0,103
	F	157,652	199,801	248,746	287,331	331,766	34,044	89,286	158,707	202,676	6,179	65,611	103,980	154,514
K_1	A	0,244	0,269	0,224	0,243	0,201	0,196	0,176	0,237	0,204	0,233	0,226	0,253	0,183
	F	14,561	41,071	73,418	89,662	121,321	138,085	160,357	191,236	207,799	294,389	337,296	348,940	19,452
O_1	A	0,139	0,136	0,129	0,119	0,118	0,104	0,105	0,124	0,130	0,145	0,138	0,115	0,102
	F	82,710	13,999	336,892	263,490	203,218	1,673	11,000	304,292	267,184	93,230	22,372	125,222	83,972
P_1	A	0,072	0,087	0,068	0,033	0,021	0,080	0,031	0,086	0,092	0,042	0,071	0,124	0,023
	F	192,269	188,909	126,837	175,735	123,013	56,574	47,241	15,771	318,250	213,508	210,800	211,754	238,155
M_4	A	0,011	0,007	0,015	0,014	0,015	0,009	0,016	0,004	0,007	0,010	0,004	0,004	0,004
	F	185,924	96,669	38,031	358,427	293,335	226,411	289,418	179,504	208,203	8,388	273,567	223,374	273,919
MS_4	A	0,009	0,015	0,013	0,004	0,006	0,014	0,021	0,009	0,003	0,011	0,012	0,007	0,003
	F	210,460	173,998	167,198	153,963	27,507	204,620	239,809	192,656	21,350	64,627	99,684	226,028	134,495

Ket: Z_0 = Duduk Tengah Muka Laut (cm); Amplitudo (cm); F = Fase ($^\circ$)

Tabel 2. Rata-Rata Amplitudo Serta Besarnya Deviasi Z_0 dan Konstanta Harmonik Pasut.

Konstanta Pasut	Stasiun BMKG		Stasiun IOC	
	Amplitudo Rata-Rata (m)	Deviasi Baku (m)	Amplitudo Rata-Rata (m)	Deviasi Baku (m)
Z_0	1,159	0,011	2,410	0,185
M_2	0,341	0,008	0,323	0,027
S_2	0,244	0,038	0,212	0,038
N_2	0,052	0,009	0,012	0,012
K_2	0,084	0,032	0,077	0,031
K_1	0,236	0,025	0,214	0,028
O_1	0,128	0,010	0,120	0,016
P_1	0,056	0,028	0,069	0,034
M_4	0,012	0,003	0,007	0,004
MS_4	0,009	0,005	0,010	0,006

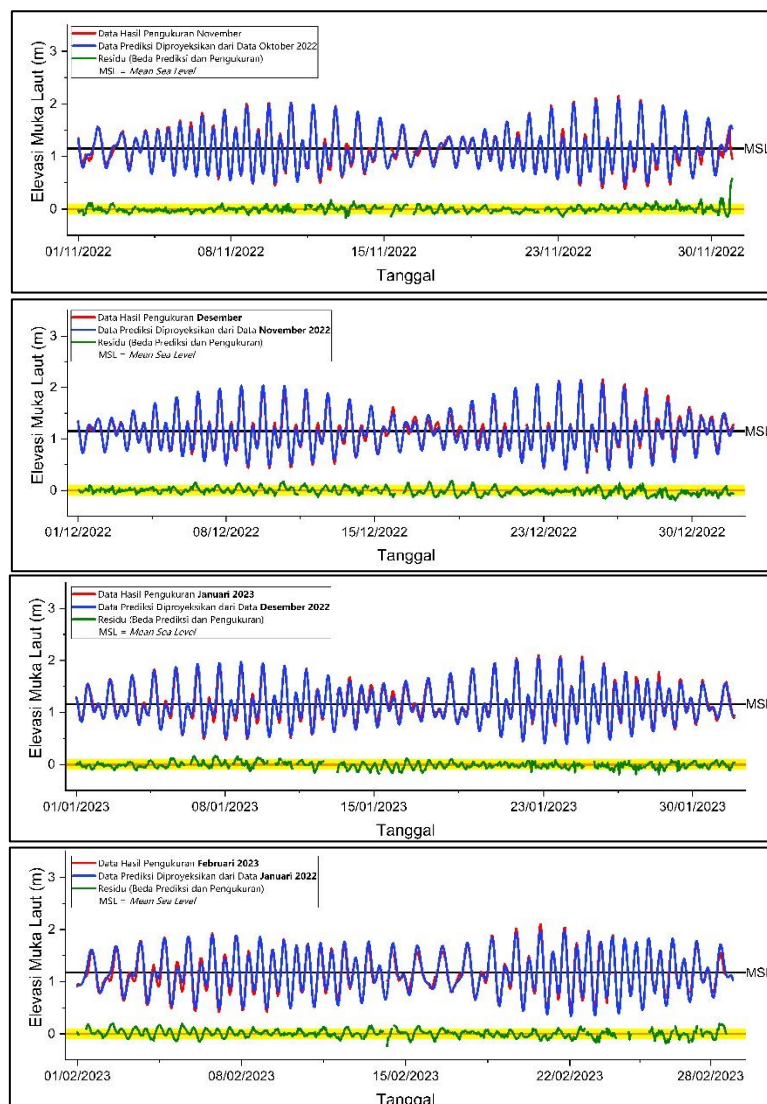
Akurasi prediksi data pasut yang dilakukan dengan memproyeksikan berdasarkan perhitungan data pengukuran bulan sebelumnya dengan menggunakan data dari kedua stasiun pengukuran, mendapatkan hasil yang berbeda-beda. Akurasi tertinggi diperoleh melalui perhitungan data stasiun pengukuran IOC bulan Maret 2021 yang diproyeksikan ke

bulan April 2021. Untuk data stasiun pengukuran BMKG, akurasi tertinggi diperoleh melalui pengolahan data pengukuran bulan Oktober 2022 yang diproyeksikan ke data bulan November 2022. Hasil prediksi pasut yang dilakukan pada kedua stasiun, selengkapnya disajikan pada Gambar 2 dan 3 serta Tabel 3.

Secara keseluruhan, diperoleh gambaran keadaan yang berbeda saat mengkaji data hasil pengukuran kedua stasiun untuk keperluan prediksi data pasut. Prediksi yang dilakukan dengan menggunakan data stasiun pengukuran IOC, seperti yang telah dibuktikan, dapat memberikan hasil prediksi dengan akurasi tertinggi pada kajian penelitian ini. Walaupun demikian, prediksi yang dilakukan dengan menggunakan data pada waktu lainnya, mendapatkan hasil dengan akurasi yang sangat buruk. Bahkan prediksi yang digunakan menggunakan data September dan Oktober 2022, mendapatkan rata-rata deviasi yang sangat besar, yaitu 27,67 cm. Di sisi lain, prediksi pasut yang dilakukan dengan memanfaatkan data

stasiun pengukuran BMKG, memberikan hasil dengan tingkat akurasi yang relatif lebih konsisten. Rata-rata deviasi hasil prediksi menggunakan data stasiun pengukuran BMKG secara konsisten berada dikisaran angka ± 5 cm.

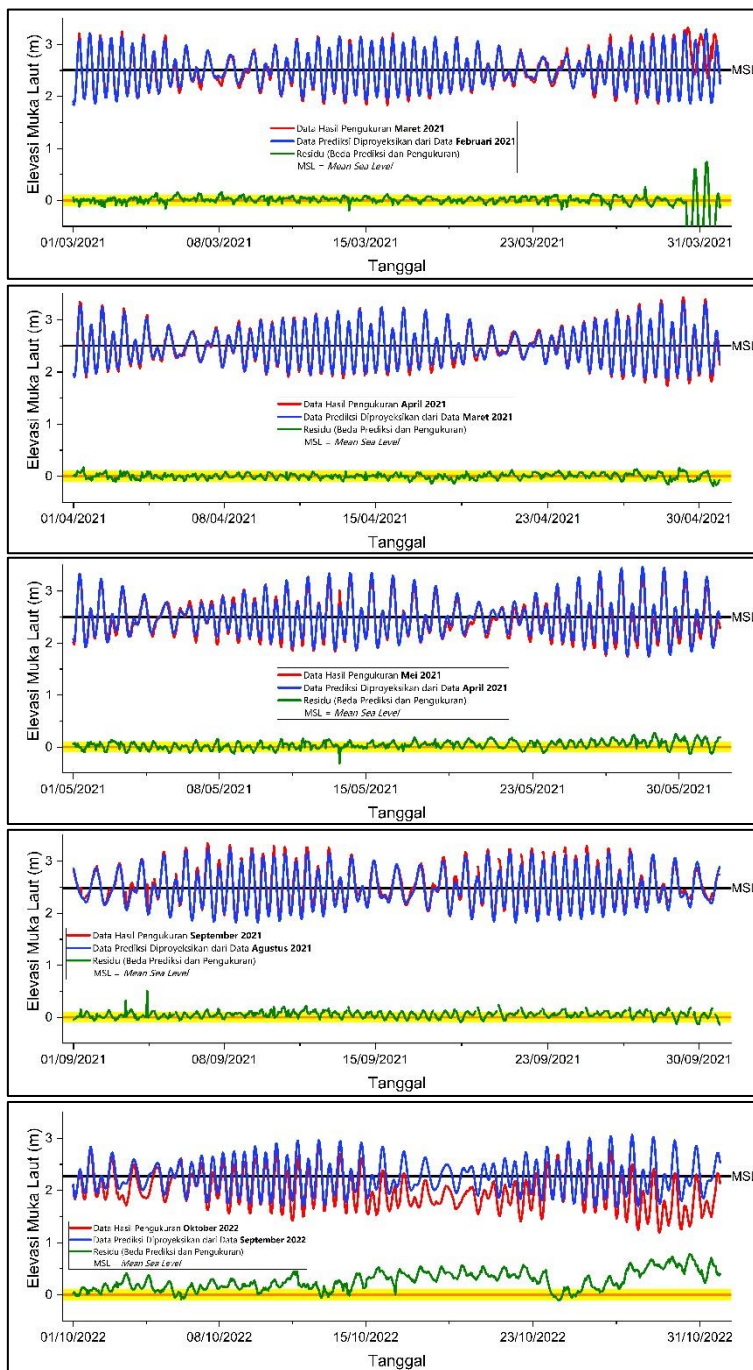
Penggunaan data pasut, terutama untuk keperluan prediksi, berhubungan dengan ketersediaan data melalui pengukuran yang kontinyu. Menurut UNESCO (1985), dasar untuk setiap analisis tentang permukaan laut harus berupa rangkaian panjang pengukuran yang cermat. Oleh karena itu, berdasarkan kajian yang dilakukan tampaknya data dari stasiun pengukuran BMKG relatif lebih representatif untuk digunakan dalam keperluan prediksi.



Gambar 2. Grafik Data Prediksi dan Pengukuran Stasiun Pengukuran BMKG

Peningkatan akurasi adalah pokok perhatian dalam kaitannya dengan prediksi pasut. UNESCO (1985) menyatakan bahwa bahkan prediksi pasut yang paling cermat sekalipun, tidak akan menghasilkan prediksi tepat seperti pengukur-

annya akibat pengaruh cuaca. Walaupun demikian, menurut mereka tipikal hasil prediksi bervariasi deviasinya dari 0,03 m di pulau-pulau samudera tropis hingga 0,25 m atau lebih di lintang tinggi yang berbadai.



Gambar 3. Grafik Data Prediksi dan Pengukuran Stasiun Pengukuran IOC

Sekalipun data pengukuran pasut stasiun BMKG cukup representatif untuk digunakan dalam keperluan prediksi, tetapi masih sangat perlu ditingkatkan kualitas pengukurannya. Pada data hasil pengukuran di setiap bulannya, masih

terdapat banyak sekali data yang tidak terukur pada waktu-waktu tertentu yang tentunya akan sangat berpengaruh terhadap akurasi prediksi yang dilakukan. Hal ini sangat perlu dilakukan untuk

memperkecil deviasi dari data hasil prediksi.

Tabel 3. Klasifikasi Besaran Nilai Deviasi Data Hasil Prediksi.

Kelas Deviasi (cm)	Persentase Banyaknya Anggota Kelas								
	Stasiun Pasut BMKG				Stasiun Pasut IOC				
	Nov' 22	Des' 22	Jan' 23	Feb' 23	Mrt' 21	Apr' 21	Mei' 21	Ags' 21	Okt' 22
<1	15,08	11,74	12,14	11,17	14,52	15,00	9,54	9,25	1,75
1 – <2	14,93	12,29	13,73	13,92	12,23	15,70	9,95	8,67	1,21
2 – <3	13,62	12,85	10,26	9,55	12,37	12,36	8,47	7,66	1,61
3 – <4	12,15	8,29	12,14	9,22	11,29	10,97	8,60	10,12	2,02
4 – <5	11,27	9,94	11,56	7,60	9,94	9,31	6,59	8,96	2,55
5 – <6	6,59	8,56	9,25	7,60	7,79	8,61	6,32	8,09	1,75
6 – <7	7,03	6,22	6,79	7,77	8,47	5,28	6,85	8,38	1,08
8 – <9	5,56	6,91	6,21	5,66	6,05	8,89	6,72	6,50	2,15
9 – <10	4,69	4,14	4,19	4,05	2,69	4,86	5,78	7,23	2,15
10 – <15	2,34	3,87	3,03	4,53	3,63	3,33	5,24	4,77	1,88
15 – <20	5,12	12,43	8,53	14,24	5,78	4,86	18,41	14,73	12,10
≥20	1,02	2,76	2,17	4,53	1,07	0,83	5,51	4,77	9,68
Deviasi Rata-Rata	4,43 cm	5,34 cm	4,91 cm	5,80 cm	7,32 cm	4,35 cm	6,91 cm	6,47 cm	27,67 cm

KESIMPULAN DAN SARAN

Amplitudo dan fase konstanta harmonik pasut bulanan perairan sekitar Kota Bitung mendapatkan hasil yang berbeda-beda setiap bulannya. Walaupun demikian, variasi terhadap nilai-nilai tersebut relatif lebih kecil untuk hasil perhitungan menggunakan data stasiun pengukuran BMKG.

Hasil prediksi pasut yang paling akurat diperoleh melalui kajian data pasut stasiun pengukuran IOC pada bulan Maret–April 2021 dengan deviasi rata-rata sebesar 4,35 cm. Walaupun demikian prediksi pasut menggunakan data stasiun pengukuran BMKG lebih konsisten dengan deviasi rata-rata ± 5 cm, dibandingkan dengan deviasi rata-rata prediksi pasut stasiun pengukuran IOC yang bervariasi dari 4,35 – 27,67 cm.

Untuk stasiun IOC tampak masih sangat perlu dilakukan peningkatan terhadap kualitas alat ukur yang dipasang. Untuk stasiun BMKG, sekalipun nilai *mean deviation* lebih konsisten tetapi peningkatan kualitas pengukuran masih harus dilakukan karena masih terdapat banyak data kosong yang mempengaruhi akurasi prediksi. Disarankan data pengukuran dari IOC maupun BMKG digunakan secara kontinyu, dengan demikian arti penting dari pengukuran tersebut menjadi lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Bawangun, Y.W., R. Djamaluddin, dan H.W.K Manengkey. 2013. Identifikasi Perkembangan Gisik di Sekitar Pelabuhan Manado dan Sungai Tondano. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*. 1(1): 21-27. FPIK Unsrat. Manado.
- Garrison, T. 2009. *Essentials of Oceanography, Fifth Edition*. Brooks/Cole Cengage Learning. USA. p. 463.
- Haryoko, U. 2014. *Kendali Mutu Data Cuaca dan Iklim*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Jakarta. 167 hal.
- Menn, L.M. 2012. *Instrumentation and Metrology in Oceanography*. John Wiley & Sons. USA. p. 399.
- Muller, P. and H.V Storch. 2004. *Computer Modelling in Atmospheric and Oceanic Science*. Springer. New York. p. 312.
- Nybakken, J.W. 1992. *Biologi Laut suatu pendekatan ekologis*. PT Gramedia. Jakarta. 445 hal.
- Pinet, P.R. 2009. *Invitation to Oceanography, Fifth Edition*. Jones and Bartlett. USA. p. 609.
- Rampangan, R.M., 2013. Amplitudo Konstanta Pasang Surut M_2 , S_2 , K_1 , dan O_1 di Perairan Sekitar Kota Bitung Sulawesi Utara. *Jurnal Ilmiah Platax*. 1(3): 118 – 124.

- Spiegel, M.R and J.L Stephens. 1999. Schaum's Outline of Theory and Problems of Statistics, Third Edition. McGraw-Hill. New York. p. 549.
- Stacey, D.H. 2006. Understanding Tides. U.S Department Of Commerce. NOAA. p. 82.
- Stewart, R.H. 2008. Introduction to Physical Oceanography. Departemen of Oceanography Texas A & M University. USA. p. 358.
- Stive, M.J.F. and Z.B. Wang. 2003. Morphodynamic Modelling of Tidal Basin and Coastal Inlets. In : Advances in Coastal Modeling. Edited by : V.C. Lakhan. Elsevier Oceanography Series, 67. Elsevier Science B.V. All Right Reserved. Amsterdam, The Netherlands. pp. 367 – 392.
- Sulaiman, A. dan I. Soehardi. 2008. Pendahuluan Geomorfologi Pantai Kuantitatif. BPPT. Jakarta. 265 hal.
- Talley, L.D, G.L. Pickard, W.J. Emery, and J.H. Swift, 2011. Descriptive Physical Oceanography: An Introduction, Sixth Edition. Elsevier Ltd. USA. p. 543.
- Triatmodjo, B. 1999. Teknik Pantai. Beta Offset. Yogyakarta. 362 hal.
- UNESCO, 1985. Manual on Sea Level Measurement and Interpretation. Vol. I - Basic Procedures. Intergovernmental Oceanographic Commission. p.75.
- _____, 2006. Manual on Sea Level Measurement and Interpretation. Vol. IV. JCOM Technical Report No. 31. Intergovernmental Oceanographic Commission. p. 80.
- Yanagi, T., 1999. Coastal Oceanography. Terra Scientific Publishing Com-pany (TERRAPUB)/Kluwer Academic Publisher. Japan. p. 162.