

# **DINAMIKA MUKA LAUT DI PESISIR KABALUTAN, TELUK TOMINI, SULAWESI UTARA**

## **DYNAMIC SEA LEVEL AT KABALUTAN COASTAL WATERS, TELUK TOMINI, NORTH SULAWESI**

**Candra Dwi Puspita<sup>1</sup>, Widodo S. Pranowo<sup>1</sup> & Muhammad Yunus<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Pusat Riset Kelautan, Badan Riset dan Sumber Daya Manusia,  
Kementerian Kelautan dan Perikanan, Jl. Pasir Putih II, Ancol Timur, Jakarta 14430

<sup>2</sup>Direktorat Rumah Khusus, Dirjen Penyediaan Perumahan,  
Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

e-mail : candra2puspita@gmail.com

Diterima tanggal: 19 Februari 2020 ; diterima setelah perbaikan: 7 Juli 2020 ; Disetujui tanggal: 29 Agustus 2020

### **ABSTRAK**

Pesisir Kabalutan yang berada dalam Teluk Tomini merupakan tempat bermukim Suku Bajo, yang umum membangun rumah di atas perairan atau permukaan laut. Pemukiman tersebut dikhawatirkan bisa tenggelam apabila terjadi kenaikan muka air laut. Kajian karakteristik pasang surut di lokasi permukiman dilakukan untuk mendapatkan informasi dinamika muka laut sesaat terhadap kenaikan muka air laut. Kajian mengambil 4 stasiun observasi yang dianggap mewakili daerah kajian dan untuk melihat karakteristik sekitar daerah kajian. Komputasi komponen harmonik pasang surut dilakukan menggunakan data satelit altimetri TOPEX/Poseidon, yang hasilnya digunakan untuk prediksi dinamika pasang surut sesaat dan prediksi dinamika pasang surut hingga tahun 2037. Data batimetri yang digunakan adalah hasil ekstraksi dari GEBCO (2008) yang beresolusi 30 arcsec. Skenario untuk simulasi kenaikan muka air laut diturunkan dari dokumen laporan sintesis IPCC (2007) dengan penambahan beberapa asumsi terkait dengan pemilihan pilot lokasi kajian. Hasil kajian menunjukkan kondisi pasang surut mempunyai tipe campuran cenderung semidiurnal dan tinggi maksimum muka laut maksimum ~0,9612 m, minimum ~-0,8576 m, dan tunggang ~1,8188 m. Dengan asumsi apabila terjadi kenaikan muka air laut yang kontinyu pada setiap tahunnya, maka diperoleh formulasi logaritmik ( $y = 0,148\ln(x) + 0,736$ ), sedangkan secara kondisi harmonik normal tanpa ada kenaikan muka laut, maka diperoleh formulasi polinomial ( $y = 7E-13x^5 + 3E-10x^4 - 3E-07x^3 + 5E-05x^2 - 0,002x + 0,891$ ).

**Kata Kunci:** Pesisir Kabalutan, Teluk Tomini, kenaikan muka air laut, dinamika pasang surut, simulasi, prediksi.

### **ABSTRACT**

*Kabalutan Coastal which located in Tomini Bay is a habitat of Bajo Ethnic. They usually build houses on waters or sea area. It is feared that the settlement could disappear due to rising sea air. Tidal characteristic studies in residential locations are carried out to obtain information on the dynamics of sea level at any time of sea level rise. The study took 4 observation stations which were considered to represent the study area and to see the characteristics around the study area. Computation of tidal harmonic components was carried out using TOPEX / Poseidon altimetry satellite data, then the results used to predict instantaneous tidal dynamics and tidal dynamics until year of 2037. The bathymetry data used is the extraction result from GEBCO (2008) with a resolution of 30 arcsec. The scenario for the simulation of sea level rising prediction is derived from the IPCC synthetic report document (2007) with the addition of several assumptions related to the selection of a pilot study location. The results of the study show that the tidal conditions have a mixed type that tends to be semidiurnal and the maximum height of the sea level is ~ 0.9612 m, minimum ~ -0.8576 m, and riding is ~ 1.8188 m. With the assumption that if there is a continuous sea level rising each year; a logarithmic formulation is obtained ( $y = 0.148\ln(x) + 0.736$ ), while under normal harmonic condition without sea level rise, a polynominal formulation is obtained ( $y = 7E-13x^5 + 3E-10x^4 - 3E-07x^3 + 5E-05x^2 - 0.002x + 0.891$ ).*

**Keywords:** Kabalutan coastal waters, Tomini Bay, sea level rising, tidal dynamics, simulation, prediction.

## PENDAHULUAN

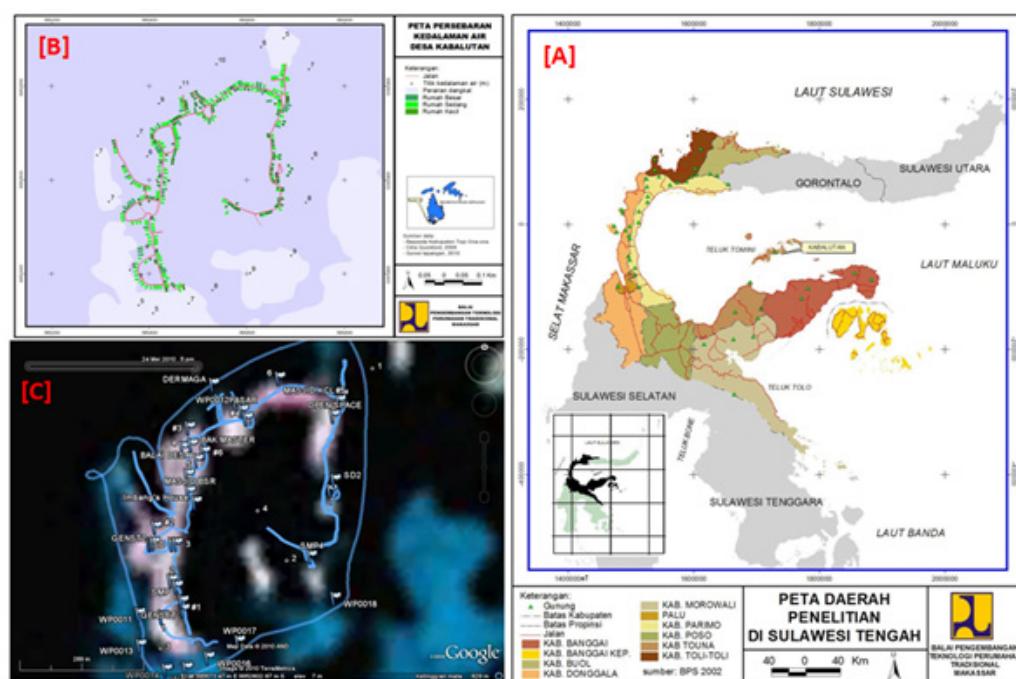
Isu perubahan iklim telah menjadi topik bahasan secara internasional. Meningkatnya CO<sub>2</sub>, selain merusak lapisan ozon di kedua kutub bumi, juga disinyalir meningkatkan efek gas rumah kaca global sehingga suhu bumi meningkat, dan menyebabkan lelehnya es di kutub. Indonesia berhadapan langsung dengan kutub selatan (Antartika) sehingga berpotensi terdampak oleh kenaikan muka air laut akibat penambahan volume air dari lelehnya es tersebut (Rustam *et al.*, 2013; Perdinan *et al.*, 2017). Posisi Indonesia, diapit oleh Samudera Pasifik dan Hindia, sebelum mendapatkan penambahan volume massa air akibat lelehan es, Perairan Indonesia selalu mendapatkan pasokan volume massa air dari samudera Pasifik yang selalu mengalir ke Samudera Hindia melewati Perairan Indonesia (Pranowo *et al.*, 2005; Gordon *et al.*, 2010; PERPRES 61/2011). Dengan melelehnya es, tentunya volume massa air yang masuk ke Perairan Indonesia akan mengalir ke seluruh Indonesia termasuk ke Teluk Tomini, yang di dalamnya ada Perairan Kabalutan (Moore *et al.*, 2018).

Pesisir Kabalutan yang berada dalam Teluk Tomini merupakan tempat bermukim Suku Bajo, yang umum

membangun rumah di atas perairan atau di atas permukaan laut (Brodjonegoro *et al.*, 2004; Saad, 2010). Pola persebaran permukiman terpencar dalam kelompok kecil dan menempati garis pantai (Prihandono, 2012). Sehingga dikhawatirkan apabila terjadi kenaikan muka air laut akan menenggelamkan permukiman Suku Bajo, walaupun belum ada penelitian yang menginformasikan adanya penurunan daratan seperti di pesisir utara Jakarta (Supangat & Pranowo, 2013; Yuliadi *et al.*, 2016).

Tujuan dari riset ini adalah untuk melihat bagaimana karakteristik pasang surut di lokasi permukiman (rumah di atas laut) suku Bajo di pesisir Kabalutan, Teluk Tomini. Selanjutnya informasi tersebut digunakan untuk melihat bagaimana respon lingkungan fisik perairan Kabalutan, yakni dinamika muka laut sesaat terhadap isu dampak perubahan iklim, yakni kenaikan muka air laut. Adapun ruang lingkup dari kajian ini adalah melalui metode prediksi dan simulasi.

Sasaran dari kajian ini adalah menyiapkan struktur dan infrastruktur, permukiman suku Bajo di Kabalutan, Teluk Tomini, sebagai suatu usaha menuju langkah mitigasi, agar tangguh menghadapi dampak perubahan iklim berupa kenaikan muka laut.



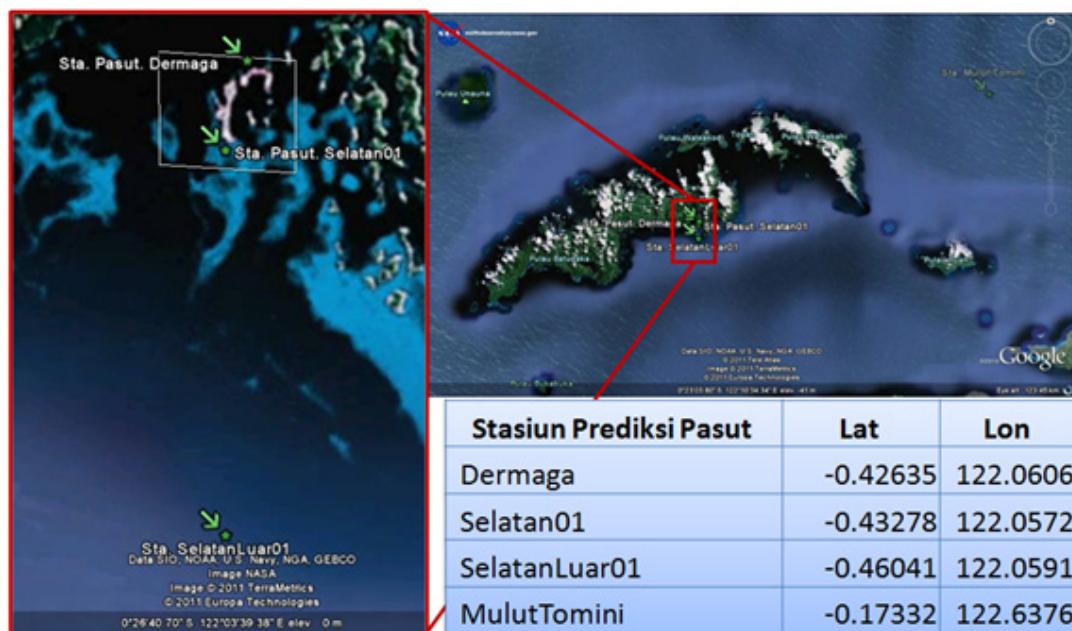
Gambar 1. Wilayah kajian dinamika muka laut di pesisir Kabalutan, Sulawesi. (A) Lokasi Kabalutan di Teluk Tomini, Sulawesi. (B) Denah kompleks permukiman Suku Bajo di Kabalutan. (C) Denah kompleks permukiman Suku Bajo di Kabalutan tampak dari kompilasi citra dari Google Earth.

Figure 1. The study area of dynamics sea level at Kabalutan coastal, Sulawesi. A) The Location of Kabalutan in Tomini Bay, Sulawesi. (B) The Site of Bajo settlement complex in Kabalutan. (C) The site of Bajo settlement complex in Kabalutan seen from Google Earth.

## BAHAN DAN METODE

Kajian ini mengambil 4 stasiun observasi yang dianggap mewakili daerah kajian dan juga untuk melihat karakteristik di lokasi penelitian. Keempat stasiun tersebut adalah: 1) Stasiun Dermaga, yang tepat berada di Dermaga Kabalutan mewakili bagian utara Kabalutan; 2) Stasiun Selatan01 untuk mewakili bagian selatan; 3) Stasiun SelatanLuar01 untuk melihat sejauh mana perbedaannya sedikit terluar; dan 4) satu stasiun Mulut Tomini untuk penetrasi pasang surut dari arah Mulut Teluk Tomini, ditunjukkan pada Gambar 2. Berdasarkan keempat stasiun observasi tersebut diatas, kemudian dilakukan komputasi komponen harmonik pasang surut (Pugh, 1987; Herman, 2005; Yuliadi, 2017) menggunakan data satelit altimetri TOPEX/Poseidon (Egbert & Erofeeva, 2002). Selanjutnya, berdasarkan komponen harmonik tersebut, dilakukan prediksi dinamika pasang surut sesaat, yakni periode Oktober-Desember 2011 untuk melihat karakteristik pola elevasi muka laut oleh pasang surut (Gultom *et al.*, 2017). Prediksi dinamika pasang surut dengan rentang waktu 25 tahun (2012-2037) mengadopsi konsepsi dari riset yang dilakukan oleh Yuliadi (2017). Data batimetri yang digunakan sebagai referensi adalah diekstraksi dari GEBCO (2020) yang beresolusi 30 arcsec, seperti yang digunakan oleh Mustikasari *et al* (2015) untuk memodelkan dinamika muka laut.

Skenario untuk simulasi prediksi kenaikan muka air laut diturunkan dari dokumen laporan sintesis IPCC (2007) dengan penambahan beberapa asumsi terkait dengan pemilihan pilot lokasi kajian. Skenario dari IPCC tersebut juga diacu oleh Perdinan *et al* (2017), yang hingga kini masih relevan (Li *et al.* 2016; Liu *et al.*, 2020). Asumsi yang diambil tersebut antara lain: belum melibatkan parameter geodinamika seperti kemungkinan adanya *Uplift* dan/atau *Land Subsidence* dalam kurun waktu 2012-2037 secara kontinyu setiap tahun; juga tidak melibatkan parameter gelombang akibat angin (*wind waves*); dan di Kabalutan bukan suatu zona industri dan tidak terdapat PLTU yang membuang limbah air panas ke laut, sehingga apabila terjadi pemanasan global sedikit dimungkinkan berdampak kepada kenaikan muka air laut di Kabalutan (Brodjonegoro *et al.*, 2004; Supangat & Pranowo, 2013). Berdasarkan asumsi-asumsi tersebut maka skenario kenaikan muka air laut yang diambil sebagai estimasi adalah batas bawah dari laporan sintesis IPCC (2007) tentang kenaikan muka air laut, hasil tampak dalam Tabel 1. Pembangunan formulasi matematis dinamika elevasi muka laut secara logaritmik dilakukan untuk asumsi apabila ada kenaikan muka laut Ziegler & Booth (2004). Sedangkan formulasi polynomial digunakan untuk membangun formulasi ketika diasumsikan tidak ada kenaikan muka laut di pesisir Kabalutan (Barbeau, 2003).



Gambar 2. Denah lokasi 4 stasiun (Dermaga, Selatan01, SelatanLuar01, dan MulutTomini) yang digunakan untuk prediksi pasang surut di pesisir Kabalutan. Adapun letak lokasi tersebut terhadap Teluk Tomini dapat dilihat pada Gambar 1.

Figure 2. The site area for 4 stations (Dermaga, Selatan01, SelatanLuar01, and MulutTomini) that used for tide prediction at the Kabalutan coastal. The site of the location towards Tomini Bay can be seen in Figure 1.

Tabel 1. Skenario kenaikan muka air laut, yang digunakan pada kajian ini, diturunkan dari IPCC (2007)\*  
 Table 1. The scenario for simulation of sea level rising is derived from the IPCC (2007)\*

Tahun*	Kenaikan Temperatur Air Laut [°C]*	Kenaikan Muka Yang digunakan Air Laut [m]*	pada Kajian ini [m]
2000-2015	2,0-2,4	0,4-1,4	0,4
2000-2020	2,4-2,8	0,5-1,7	0,5
2010-2030	2,8-3,2	0,6-1,9	0,6
2020-2060	3,2-4,0	0,6-2,4	0,7

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Pasang Surut

Karakteristik pasang surut di Pesisir Kabalutan berdasarkan hasil estimasi di empat stasiun adalah bertipe campuran cenderung semi-diurnal (*mixed tide mainly semidiurnal*), yang ditunjukkan oleh nilai *Form Factor* berkisar antara 0,6888 - 0,7657 (Tabel 2). Hal tersebut sesuai dengan peta sebaran tipe pasang surut di asia tenggara yang disusun oleh Wyrtki (1961).

Komponen harmonik yang muncul di pesisir Kabalutan adalah: pengaruh dari gravitasi bulan (semidiurnal M2 dan diurnal O1); semidiurnal gravitasi matahari (S2); diurnal gravitasi matahari-bulan atau lunisolar diurnal (K1); K2 lunisolar semidiurnal; N2 semidiurnal lunar elliptic; P1 diurnal *principal solar*; Q1 diurnal lunar elliptic. Secara geografis tipe pasang surut, Teluk Tomini memiliki tipe campuran cenderung semidiurnal seperti umumnya di kawasan timur laut Indonesia (Pranowo & Wirasantosa, 2011), namun posisi Teluk Tomini adalah lebih dekat dengan Pasifik sehingga propagasi pasang surut sebagai gelombang panjang

diduga lebih dipengaruhi dari Samudera Pasifik daripada dari Samudera Hindia (Pranowo *et al*, 2014; Sabhan *et al.*, 2019).

Tipe campuran lebih terlihat di stasiun Mulut Tomini yang kondisi batimetrianya lebih dalam (~760 meter) dibandingkan dengan stasiun yang lain, yakni Stasiun Dermaga dan Stasiun Selatan 01 (~10 meter) serta Stasiun SelatanLuar01 (~30 meter). Kondisi kedalaman tersebut secara teori berpengaruh terhadap evolusi penjalaran komponen harmonik (Pugh, 1987; Sabhan *et al.*, 2019). Dimana pada kasus pesisir Kabalutan, komponen M2 dari luar Teluk Tomini kemudian berevolusi menjadi M4 ketika menjalar di area yang berkondisi batimetri dangkal ketika masuk di dalam Teluk Tomini (Hatayama *et al.*, 1996; Ray *et al.*, 2005). Hal yang menarik lainnya adalah tinjauan secara astronomis, lihat Tabel 2, dari seluruh stasiun menggambarkan komponen K2 ketika bermodulasi dengan M2 akan menghasilkan efek deklinasi bulan dan ketika K2 bermodulasi dengan S2 kemudian menghasilkan efek deklinasi dengan matahari

Tabel 2. Konstanta pasang surut di 4 stasiun di pesisir Kabalutan  
 Table 2. The Tidal constants for 4 stations at the Kabalutan coastal waters

Sta. Dermaga amplitudo [m]	fase [°]	Sta. Mulut Tomini amplitudo [m]	fase [°]	Sta. Selatan01 amplitudo [m]	fase [°]	Sta. SelatanLuar01 amplitudo [m]	fase [°]	
M2	0,3409	255,91	0,2301	248,09	0,3436	256,05	0,3542	256,43
S2	0,2102	300,67	0,2138	298,4	0,2101	300,75	0,2121	300,99
N2	0,0445	195,84	0,026	221,4	0,0451	195,64	0,0471	195,82
K2	0,0669	319,15	0,0594	303,35	0,0672	319,5	0,0688	320,6
K1	0,2243	167,41	0,1994	151,01	0,225	167,71	0,2272	168,65
O1	0,1608	148,77	0,1405	134,39	0,1613	149,03	0,1629	149,87
P1	0,0694	150,01	0,0656	134	0,0696	150,31	0,0701	151,28
Q1	0,0352	138,64	0,0312	125,92	0,0353	138,87	0,0356	139,65
M4	0,0008	32,49	0,0009	192,04	0,0009	31,12	0,0011	27,84
<b>Form Factor</b>	0,6988	0,7657		0,6977		0,6888		

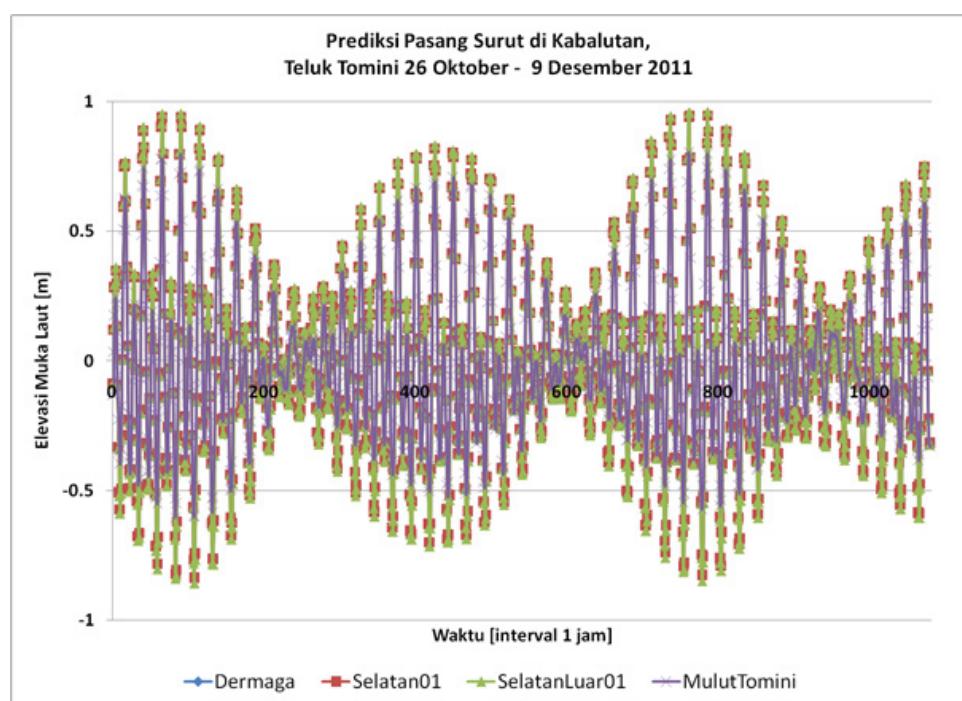
(Widisantoso *et al.*, 2016; Gultom *et al.*, 2017). Sedangkan, komponen K1 ketika bersama O1 akan mengekspresikan efek deklinasi bulan. K1 ketika bersama P1 akan mengekspresikan efek deklinasi matahari (Widisantoso *et al.*, 2016; Gultom *et al.*, 2017).

Analisis terhadap 4 komponen utama penyusun 2 jenis pasang surut pada Tabel 2 dilakukan mengadopsi Ray *et al.* (2005) dan Pranowo & Wirasantosa (2011). Komponen tersebut adalah principal lunar semidiurnal (M2), principal solar (S2), diurnal lunisolar (K1) dan principal lunar diurnal (O1). Keempat komponen pasang surut tersebut dapat bercampur bersama dan secara geografis berkembang menjadi pasang surut yang lain (Wyrtki, 1961). Pada kasus ini, yakni tipe pasang surut campuran yang terjadi di laut dalam, komponen diurnal M4 dihasilkan dari M2 dengan kecepatan sudut ganda di perairan dangkal (Pugh, 1987), lihat Tabel 2. Jenis campuran di pesisir Kabalutan kemungkinan besar disebabkan oleh himpitan dari propagasi komponen M2 dan S2 baik perambatan dari Samudera Hindia dan Samudera Pasifik (Hatayama *et al.*, 1996; Ray *et al.*, 2005). Hal tersebut dikombinasi dengan adanya penjalaran K1 dan O1 dari Samudera Pasifik Barat menuju ke pesisir Kabalutan (Wyrtki, 1961; Ray *et al.*, 2005; Robertson, 2010).

### Prediksi Dinamika Muka Laut Pesisir Kabalutan Hingga Tahun 2037

Dinamika muka laut di pesisir Kabalutan memperlihatkan bahwa kondisi muka laut maksimum di atas duduk tengah adalah sekitar 0,9612 m dengan posisi di Stasiun SelatanLuar01. Kondisi muka laut minimum sekitar 0,6031 di bawah duduk tengah yakni di Stasiun Mulut Tomini. Sedangkan tunggang muka laut yang tertinggi sekitar 1,8188 m di Stasiun SelatanLuar 01.

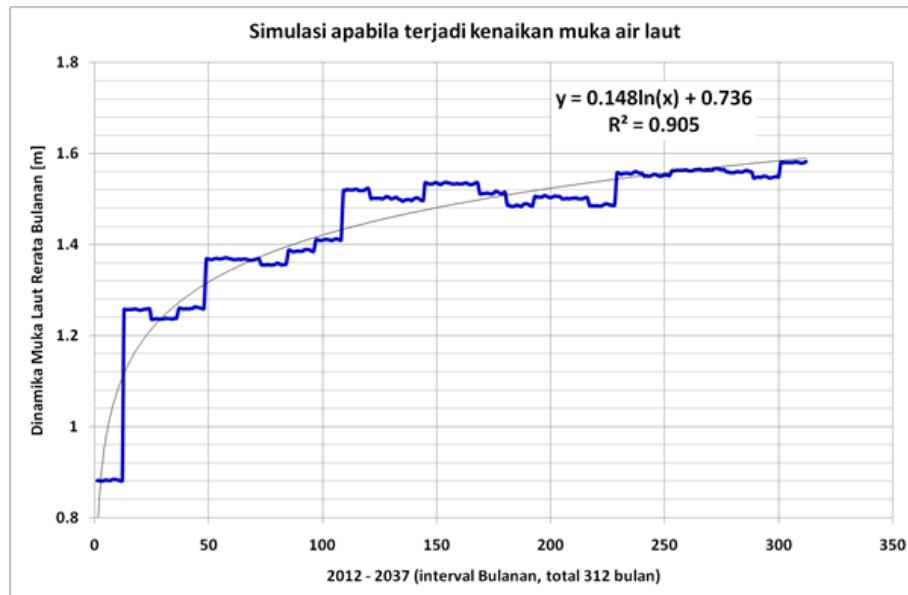
Simulasi terhadap *training* data menggunakan 312 *data points* (1 *data point* = 1 bulan) dari elevasi muka laut pada tahun 2011, untuk melakukan prediksi elevasi muka laut dari 2012 hingga 2037 (Barbeau, 2003; Ziegler & Booth, 2004). Dengan asumsi apabila terjadi kenaikan muka air laut yang kontinyu pada setiap tahunnya, maka diperoleh formulasi logaritmik ( $y = 0,148\ln(x) + 0,736$ ) dengan koefisien determinan cukup tinggi ( $R^2 = 0,905$ ). Sedangkan secara kondisi harmonik normal tanpa ada kenaikan muka laut, maka diperoleh formulasi polinomial ( $y = 7E-13x^5 + 3E-10x^4 - 3E-07x^3 + 5E-05x^2 - 0,002x + 0,891$ ) dengan koefisien determinan yang medium ( $R^2=0,794$ ). Kedua formulasi ini baru diuji secara matematis, dan belum dilakukan verifikasi dengan data observasi *in situ*. Sehingga kedepannya perlu dilakukan pengukuran secara time series dan dalam jangka waktu yang lama untuk



Gambar 3. Hasil prediksi pasang surut di pesisir Kabalutan untuk periode 26 Oktober hingga 9 Desember 2011.  
Figure 3. The Tide prediction results at the Kabalutan coastal for the period 26 October to 9 December 2011.

Tabel 3. Resume Hasil prediksi pasang surut di pesisir Kabalutan untuk periode 26 Oktober hingga 9 Desember 2011  
 Table 3. The summary of tidal predictions results at the Kabalutan coastal for the period 26 October to 9 December 2011

Elevasi Pasang Surut	Dermaga	Stasiun Selatan01	Stasiun Selatan Luar01	Mulut Tomini
Maksimum [m]	0,9426	0,9462	0,9612	0,8019
Minimum [m]	-0,8315	-0,8368	-0,8576	-0,6031
Tunggang [m]	1,7741	1,783	1,8188	1,405



Gambar 4. Hasil simulasi apabila terjadi kenaikan muka air laut, untuk periode tahun 2012 - 2037,  
 di Stasiun Dermaga, Pesisir Kabalutan.  
*Figure 4. The Simulation results if in the event of sea level rise at the Dermaga Station Kabalutan Coastal  
 for the period 2012-2037.*



Gambar 5. Hasil simulasi apabila tidak terjadi kenaikan muka air laut, untuk periode tahun 2012 – 2037,  
 di Stasiun Dermaga, Pesisir Kabalutan.  
*Figure 5. The Simulation results if there is no sea level rise at the Dermaga Station Kabalutan coastal  
 for the period 2012 – 2037.*

mendapatkan data untuk verifikasi, data tersebut akan lebih baik bila mengandung data gelombang panjang yang merepresentasikan pasang surut maupun data yang mengandung gelombang pendek atau gelombang yang dibangkitkan oleh angin (Setiawan *et al.*, 2018; Adrianto *et al.*, 2019).

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Kondisi dinamika pasang surut di Pesisir Kabalutan, Teluk Tomini cenderung dipengaruhi oleh pasang surut tipe campuran cenderung semidiurnal (*Form Factor*= 0,6888 - 0,7657). Tinggi muka laut maksimum ~0,9612 m, minimum ~-0,8576 m, dan tunggang ~1,8188 m. Secara matematis dinamika muka laut hingga tahun 2037 dapat disimulasikan menggunakan 2 skenario formulasi polinomial yakni:

1. Skenario simulasi peningkatan muka laut dapat menggunakan formulasi logaritmik ( $y = 0,148\ln(x) + 0,736$ ) dengan tingkat kepercayaan yang cukup tinggi ( $R^2 = 0,905$ ).
2. Sedangkan simulasi manakala tidak ada peningkatan muka laut maka dapat menggunakan formulasi polinomial ( $y = 7E-13x^5 + 3E-10x^4 - 3E-07x^3 + 5E-05x^2 - 0,002x + 0,891$ ) dengan tingkat kepercayaan yang medium ( $R^2 = 0,794$ ).

### Rencana Kedepan (*Outlook*)

Diperlukan kegiatan pengukuran parameter utama (oseanografi fisik) secara langsung (*in situ*) dan *time series* di lokasi untuk menguji hasil kajian pada saat ini. Parameter tersebut antara lain, pasang surut atau muka air laut minimal 15 hari dan bahkan sebaiknya secara kontinyu agar mendapatkan data yang lebih panjang, kondisi batimetri, kecepatan dan arah arus. Jika dimungkinkan, diukur kecepatan dan arah angin, serta konsentrasi CO<sub>2</sub> di udara sebagai data kontrol simulasi/kajian.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ketiga penulis memiliki kontribusi yang sama dalam analisis dan penyusunan makalah ini. Makalah ini adalah hasil kerjasama riset pada tahun 2011-2013 antara Pusat Litbang Kelautan dengan Balai Pengembangan Teknologi Rumah Tradisional, Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum, Kementerian Pekerjaan Umum. Kemudian dilakukan reanalisis data dan pemodelan ulang pada tahun 2018-2019. Proses penyusunan manuskrip makalah

ini ditelaah oleh Prof. Dr. Gono Semiadi selama penulis mengikuti diklat peneliti pertama tahun 2019 di Pusbindiklat LIPI. Pada tahun 2020, manuskrip ini disempurnakan kembali oleh tim penulis dalam kerangka kegiatan riset “Kebijakan Pemanfaatan Data Gelombang Untuk Kebijakan Sektor Kelautan dan Perikanan” pada Pusat Riset Kelautan TA 2020.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adrianto, D., Djatmiko, E. B., & Suntoyo. (2019). The improvement of ultrasonic sensor-based device for direct ocean wave measurement program at Western Java Sea – Indonesia. *IOP Conf. Series. Earth & Env. Sci.* 389: 012022.
- Barbeau, E. J. (2003). *Polynomials*. Springer. ISBN 978-0-387-40627-5. pp. 1–2.
- Brodjonegoro, I. S., Pranowo, W.S., Husrin, S., Tisiana, R., Hendrajana, B., Widjanarko, E., Triwibowo, H., Conbul, D., Adi, T. R., Nasution, I. M., Purbani, D., Kusumah, G., Ahmad, Kadarwati, U. R., Prihatno, H., Purnomo, A. H., Taryono, Zahri, N., Tjahyo T.H., Hugroho A., & Azizi, A. (2004). *Daya Dukung Kelautan dan Perikanan: Selat Sunda, Teluk Tomini, Teluk Saleh, Teluk Ekas*. ISBN: 979-97572-8-2.
- Egbert, G. D., & Erofeeva, S. Y. (2002). Efficient Inverse Modeling of Barotropic Ocean Tides. *Am. Met. Soc*, (19)2, 183-204
- GEBCO (2020). Gridded Bathymetry Data. <http://gebco.net> [diakses Juni 2020].
- Gordon, A., Sprintall, J., Van Aken, H. M., Susanto, D., Wijffels, S., Molcard, R., Ffield, A., Pranowo, W. S., & Wirasantosa, S. (2010). The Indonesian Throughflow during 2004-2006 as observed by the INSTANT program, *Dyn. Atmosph. Ocean*, 50(2), 115-128.
- Gultom, F., Harsono, G., Pranowo, W. S., & Adrianto, D. (2017). Sistem Informasi Pasang Surut Berbasis Android di Wilayah Kerja Pangkalan TNI Angkatan Laut (Studi Kasus Belawan, Taremap, Sibolga, Natuna dan Cilacap). *J. Chart Datum*, 3(2): 81-92.
- Hatayama, T., Awaji, T., & Akitomo, K. (1996). Tidal currents in the Indonesian seas and their effect

- on transport and mixing. *J. Geophys. Res.*, 101: 12,353-12,373.
- Herman, R. (2005). *Harmonic analysis and the prediction of tide*. Mathematic and Statistics, UNCW, 60 pp.
- IPCC Climate Change (2007): Synthesis Report, Summary for Policy makers. IPCC Plenary XXVII, Valencia, Spain, 12-17 November 2007.
- Liu, S., Zhang, H., Shi, X., M.-T. Chen, Cao, P., li, Z., Troa, R. A., Zuraida, R., Triarso, E., & Marfasran, H. (2020) Reconstruction of monsoon evolution in southernmost Sumatra over the past 35 kyr and its response to northern hemisphere climate changes. *Progress in Earth and Planetary Science*, 7(30): 13 pages.
- Li, Z., Shi, Z., M.-T. Chen, Wang, H., Liu, S., Xu, J., Long, H., Troa, R. A., Zuraida, R., & Triarso, E. (2016). *late Quaternary fingerprints of precession and sea level variation over the past 35 kyr as revealed by sea surface temperature and upwelling records from the Indian Ocean near southernmost Sumatra*. *Quaternary International* 425: 282-291.
- Moore, J. C., Gladstone, R., Zwinger, T., & Wolovick, M. (2018). *Geoengineer polar glaciers to slow sea-level rise*. *Nature* 555: 303-305.
- Mustikasari, E., Dewi, L. C., Heriati, A., & Pranowo, W. S. (2015). Pemodelan Pola Arus Barotropik Musiman 3 Dimensi (3D) Untuk Mensimulasikan Fenomena Upwelling di Perairan Indonesia. *J. Segara*, 11(1), 25-35.
- Perdinan, Atmaja, T., Adi, R. F., Nugroho, S., Wijanarko, K., Kardono, Widyarissantie, A., Pranowo, W. S., & Syahbuddin, H. (2017). *Studi Perubahan Iklim di Indonesia: Perkembangan Studi Kerentanan, Risiko, Dampak & Adaptasi Perubahan Iklim, Tantangan dan Peluang*. ISBN: 978-602-74644-9-0. xxiv+167 hlm.
- PERPRES No. 61 Tahun 2011: Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca, 55 halaman (termasuk Lampiran).
- Pranowo, W. S., Kuswardani, A. R. T. D., Kepel, T. L., Kadarwati, U. R., Makarim, S., & Husrin, S. (2005). *Ekspedisi INSTANT 2003-2005: Menguak Arus Lintas Indonesia*. ISBN: 979-3768-06-1.
- Prihandono, A. (2012). Kajian Masalah Ekologis Dalam Penataan Pemukiman Di Kawasan Pesisir-Zona Atas Air. *Jurnal Pemukiman*, 7(3), 138-150.
- Pugh, D. T. (1987): *Tides, Surges and Mean Sea-Level*. John Wiley & Sons, ISBN:047191505X.
- Ray, R. D., Egbert, G. D., & Erofeeva, S. Y. (2005). A Brief Overview of Tides in the Indonesian Seas. *Oceanography*, 18(4), 74-79.
- Robertson, R. (2010). Tidal Currents and Mixing at the INSTANT Mooring Locations. *Dyn. Atmosph. Ocean*, 50 (2), 331-373, doi:10.106/j. dynatmoce.2010.02.004.
- Rustam, A., Pranowo, W. S., Kepel, T. L., Adi, N. S., & Hendrajana, S. (2013). Peran Laut Jawa dan Teluk Banten Sebagai Pelepas dan/atau Penyerap CO<sub>2</sub>. *J. Segara*, 9(1): 75-84.
- Saad, S. (2010). *Bajo Berumah di Laut Nusantara*. ISBN: 979-12677-0-7. 139 hlm.
- Setiawan, A., Pranowo, W. S., & Simanjuntak, S. M. (2018). Pembangunan Purwarupa Alat Ukur Gelombang Menggunakan Sensor Tekanan Dilengkapi Telemetry. *J. Hidropilar*, 4(2): 85-94.
- Supangat, A., & Pranowo, W. S. (2013). Dampak Perubahan Iklim. Bab dalam Buku. dalam Wagey, T. (Ed.): *Perubahan Iklim: Kontribusi Laut Indonesia dan Upaya Adaptasinya*. Hal: 43-61.
- Widisantoso, H., Pranowo, W. S., Simanjutak, S. M., & Setiadi, H. (2016). Studi Komparasi Harmonik Pasang Surut Terhadap Data Suhu Permukaan Laut di Perairan Pulau Pari. *J. Chart Datum*, 2(2): 139-151.
- Wyrtki, K. (1961). *Physical Oceanography of the Southeast Asian Waters*. NAGA REPORT, Vol. 2, 225 pages.
- Yuliadi, D. (2017). *Model Adaptasi Banjir Rob Kawasan Pesisir Wilayah Perkotaan (Studi Kasus Di Kecamatan Penjaringan Pantai Utara Jakarta)*. Disertasi. Institut Pertanian Bogor.

Yuliadi, D. Eriyatno, M. Yanuar, J. Purwanto, I.W.

Nurjaya. (2016). Socio economical impact analysis and adaptation strategy for coastal flooding case study on North Jakarta Region. *Int. J. Advanced Sci. Eng. Infor. Tech*, 6(3), 390-393.

Ziegler, R.S., & J.L. Booth (2004). Development of numerical estimation in Young Children. *Child Development*, 75(2), 428-444.

