

Analisis Fluktuasi Muka Air Laut di Pesisir Kota Jakarta Kaitannya dengan Fluktuasi Muka Air Laut Global Tahun 2015-2023

Priska E. Lumban Batu*, Heryoso Setiyono, Yusuf Jati Wijaya

Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275, Indonesia
Email: *priskaelumbanbatu@gmail.com

Abstrak

Jakarta merupakan kota yang berlokasi di pesisir utara Jawa dengan luas wilayah 66,401 ha. Secara topografis, Jakarta terletak di dataran rendah dengan kemiringan berkisar 0-5 derajat. Jakarta termasuk wilayah landai yang kemungkinan besar akan terdampak langsung dari fluktuasi kenaikan permukaan air laut. Fluktuasi air laut merupakan masalah serius yang dialami negara-negara pesisir atau kepulauan di seluruh bumi termasuk Indonesia. Hal tersebut dapat mengganggu aktivitas pesisir sehingga perekonomian di Jakarta terganggu. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya fluktuasi tinggi permukaan laut di pesisir kota Jakarta kaitannya dengan fluktuasi tinggi muka air laut global. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan menghitung laju peningkatan kenaikan fluktuasi permukaan laut melalui metode statistik regresi linier sederhana menggunakan *Software Microsoft Excell*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa ada peningkatan permukaan laut di Kota Jakarta, yaitu berupa naiknya elevasi permukaan laut sebesar 0,1734 cm/bulan dengan fluktuasi permukaan laut yang meningkat signifikan, yaitu Jakarta sebesar $1,65 \pm 0,34$ cm/tahun, Lautoka sebesar $0,91 \pm 0,33$ cm/tahun, Honiara $1,56 \pm 0,59$ cm/tahun, dan Port Vila sebesar $1,91 \pm 0,36$ cm/tahun, secara umum merupakan peningkatan yang sangat tinggi dan secara signifikan lebih tinggi dibandingkan rata-rata global sekitar 3,6 mm/tahun.

Kata kunci: Perubahan Iklim, Pasang Surut, Jakarta, Pesisir

Abstract

Analysis of Sea Level Fluctuations in Jakarta Coastal in Relation to Global Sea Level Fluctuations 2015-2023

Jakarta is a city located on the north coast of Java with an area of 66,401 ha. Topographically, Jakarta is located in a lowland with a slope ranging from 0-5 degrees. Jakarta is a sloping area that is likely to be directly affected by fluctuations in sea level rise. Sea level fluctuations are a serious problem experienced by coastal or island countries throughout the world including Indonesia. This can disrupt coastal activities so that the economy in Jakarta is disrupted. The purpose of this study was to determine the magnitude of sea level fluctuations on the coast of Jakarta in relation to global sea level fluctuations. This study uses a quantitative method by calculating the rate of increase in sea level fluctuations through a simple linear regression statistical method using *Microsoft Excell Software*. The results of this study indicate that there is an increase in sea level in the city of Jakarta, namely an increase in sea level elevation of 0.1734 cm/month with significant sea level fluctuations, namely Jakarta by 1.65 ± 0.34 cm/year, Lautoka by 0.91 ± 0.33 cm/year, Honiara 1.56 ± 0.59 cm/year, and Port Vila by 1.91 ± 0.36 cm/year, in general it is a very high increase and significantly higher than the global average of around 3.6 mm/year.

Keywords: Climate Change, Tides, Jakarta, Coastal

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara maritim terbesar di dunia yang wilayahnya terdiri dari dua pertiga wilayah laut. Indonesia memiliki lebih dari 17.000 pulau dengan luas wilayah laut sekitar 5,8 juta km², dan panjang garis pantai 81.000 km (Condro & Siahaan, 2021). Kondisi tersebut menyebabkan Indonesia rentan terhadap peningkatan permukaan laut akibat pemanasan global. Kenaikan permukaan laut adalah salah satu konsekuensi paling kritis dari pemanasan global, dengan potensi besar terhadap lingkungan dan masyarakat pesisir. Perubahan spasial dan temporal pada permukaan laut bersifat heterogen selama bertahun-tahun atau beberapa dekade (Zanchettin *et al.*, 2022).

Fenomena rata-rata kenaikan permukaan laut di seluruh dunia ditandai dengan kenaikan rata-rata permukaan laut (MSL), yang meningkat sekitar 20 cm selama 100 tahun terakhir akibat ekspansi termal air

laut, mencairnya gletser dan lapisan es (Park *et al.*, 2023). Tahun 2022, permukaan laut rata-rata global MSL (GMSL) akan terus meningkat. Kenaikan *GMSL* diperkirakan mencapai sebesar $3,4 \pm 0,3$ mm per tahun selama 30 tahun (1993-2022) dari catatan altimetri satelit, tetapi lajunya meningkat dua kali lipat antara dekade pertama pencatatan (1993-2002) dan dekade terakhir (2013-2022) dimana laju tersebut telah melebihi 4,4 mm pertahun. Percepatan *global mean sea level* diperkirakan sebesar $0,12 \pm 0,05$ mm pertahun selama periode 30 tahun. *Global mean sea level* meningkat sekitar 5 mm antara Januari 2021 dan Agustus 2022. Sejak Januari 2020, peningkatan *global mean sea level* mencapai sekitar 10 mm, sebagian kecil dari kenaikan *global mean sea level* sejak tahun 1993 (sekitar 100 mm), meskipun La Nina sedang berlangsung (*World-Meteorological-Organization*, 2022). Berdasarkan catatan altimetri satelit selama 31 tahun, laju kenaikan permukaan laut global telah meningkat lebih dari dua kali lipat dari 2,1 mm/tahun menjadi 4,5 mm/tahun. Permukaan laut global meningkat 111 mm dari tahun 1993 hingga 2024. Jika peristiwa ini terus berlanjut, permukaan air laut global akan meningkat lebih dari 169 mm selama tiga dekade mendatang (Hamlington *et al.*, 2024).

Kenaikan permukaan laut merupakan permasalahan kritis yang dihadapi negara-negara pesisir dan kepulauan di seluruh dunia termasuk Jakarta. Jakarta merupakan kota di pesisir utara Jawa yang terdiri dari 267 kelurahan dan 44 kecamatan dengan luas wilayah 66.401 ha (BPS, 2022). Secara topografi pesisir Kota Jakarta terletak di dataran rendah dan rentan terhadap bencana alam. Pada dasarnya Jakarta merupakan kawasan yang datar dengan tingkat kemiringan berkisar diantara 0-5 derajat kemiringan yang membentang dari daerah utara Jakarta hingga selatan. Wilayah paling selatan Jakarta memiliki ketinggian dan kemiringan yang relatif lebih baik dibandingkan dengan wilayah Jakarta lainnya dengan ketinggian sekitar 50 m di MSL. Ketidakseragaman topografi menyebabkan beberapa kawasan memiliki ketinggian lebih rendah dari pasang maksimum. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kerentanan daerah Jakarta akan berpotensi untuk terdampak secara langsung oleh kenaikan muka air laut (Rais *et al.*, 2022). Hal ini mampu mempengaruhi aktivitas di daerah pesisir Jakarta yang berperan penting dalam perekonomian kota.

Beberapa penelitian yang dilakukan sebelumnya mengenai fluktuasi muka air laut, seperti pesisir wilayah Surabaya menggunakan data pasang surut, data suhu udara, dan data satelit altimetri dengan metode studi kasus menggunakan software *Ms Excel*, *Er Mapper*, *Acr GIS*, dan *SPSS* (Sageta *et al.*, 2012), Wilayah Tegal memanfaatkan data pasang surut dengan memantau perubahan garis pantai dengan teknik penginderaan jauh berbentuk peta citra *Landsat* (Manikin & Prabowo, 2020), dan perairan Semarang (Shalsabilla *et al.*, 2022) menggunakan data pasang surut dan harian, suhu udara, dan curah hujan dengan metode kuantitatif. Tetapi, dalam rentang waktu sepuluh tahun terakhir ini belum ada yang melakukan penelitian di Pesisir Kota Jakarta kaitannya dengan muka air laut global seperti perairan-perairan di Samudera Pasifik.

Pesisir Kota Jakarta merupakan kawasan pesisir yang sangat rentan terhadap perubahan tinggi air laut. Peningkatan perubahan permukaan laut yang terus-menerus dapat merusak ekosistem dan merugikan banyak pemangku kepentingan. Fenomena peningkatan fluktuasi permukaan laut ini mempunyai efek langsung terhadap seluruh wilayah pesisir, karena dapat menimbulkan dampak langsung seperti erosi pantai, genangan air, peningkatan frekuensi dan intensitas terjadinya banjir, serta peningkatan pengaruh badai terhadap wilayah pesisir, peningkatan salinitas air tanah dan rusaknya ekosistem pesisir. Oleh karena itu, penting untuk menganalisis fluktuasi permukaan laut di pesisir Jakarta dengan membandingkannya dengan fluktuasi muka air laut global. Hal ini akan memungkinkan pengembangan strategi untuk mengurangi risiko kenaikan permukaan laut, mendukung kebijakan lingkungan hidup, dan meningkatkan kesadaran masyarakat untuk meminimalkan dampak.

MATERI DAN METODE

Materi Penelitian

Materi dalam penelitian ini menggunakan data utama dan pendukung. Data utama adalah data pasang surut harian wilayah laut Jakarta yang berasal dari perekaman setiap jam instansi Badan Informasi Geospasial (BIG) selama 2015-2023 yang tersedia pada website <http://inasealevelmonitoring.big.go.id>. Data yang digunakan merupakan data stasiun pasang surut air laut yang terletak di kawasan pantai utara Jakarta, yaitu kawasan Pondok Dayung, Tanjung Priok, Jakarta. Stasiun pasang surut Pondok Dayung ini dibangun oleh BIG yang terletak di $06^{\circ} 05' 48.01$ LS dan $106^{\circ} 52' 41.52$ BT di area Lantamal III TNI AL Pondok Dayung. Sedangkan data pendukung merupakan data yang digunakan sebagai data pembanding. Adapun data pendukung tersebut berupa data-data pasang surut harian dari *Intergovernmental Oceanographic Commission* (IOC) Perairan Lautoka Fiji Island, Perairan Port Vila Vanuatu, dan Perairan Honiara Kepulauan Solomon

tahun 2015-2023 yang bisa diunduh melalui situs <https://www.ioc-sealevelmonitoring.org/>. Penelitian ini dilakukan di perairan Tanjung Priok, Jakarta pada bulan Mei sampai dengan bulan Oktober 2024.

Pemilihan lokasi data pembandingan ini didasarkan pada keterkaitan geografis dan iklim yang mirip dengan Indonesia. pemilihan lokasi ini jadi lebih relevan untuk memahami perbandingan dampak perubahan iklim dan kenaikan fluktuasi muka air laut. Pemilihan lokasi pembandingan ini juga dipengaruhi oleh data pasang surut yang relevan dimana banyak negara kepulauan di Pasifik memiliki data pasang surut yang dapat digunakan untuk analisis dinamis MSL yang memberikan konteks yang lebih luas untuk kondisi Jakarta. Faktor lain yang dipertimbangkan dalam pemilihan lokasi pembandingan di Samudera Pasifik, yaitu resiko kenaikan muka air laut dan banjir rob, dimana sama seperti Jakarta, banyak negara-negara kepulauan Pasifik menghadapi risiko kenaikan muka air laut dan banjir rob, sehingga studi perbandingan ini dapat membantu dalam strategi mitigasi.

Namun, materi penelitian yang digunakan pada studi ini hanya berdasarkan pada nilai MSL tahunan dari pasang surut terukur di lapangan bersumber dari BIG dan IOC dalam rentang waktu 9 tahun tanpa mempertimbangkan laju penurunan muka tanah di lokasi penelitian yaitu Perairan Tanjung Priok Jakarta, Perairan Lautoka Fiji Island, Perairan Honiara Kepulauan Solomon, dan Perairan Port Vila Vanuatu.

Metode Penelitian

Metode dalam penelitian ini menggunakan metode kuantitatif, yaitu metode yang menganut prinsip empiris, obyektif, terukur, rasional dan sistematis (Sugiyono, 2012). Pada penelitian ini data yang digunakan berbentuk angka dan dianalisis dengan perhitungan statistik seperti laju kenaikan permukaan air laut.

Metode Analisa Data Pasang Surut Bulanan

Data pasang surut bulanan per jam dari BIG selama periode 9 tahun dihitung untuk menghasilkan nilai MSL, *Highest High Water Level* (HHWL) dan *Lowest Low Water Level* (LLWL) setiap bulan. Data MSL setiap bulan disajikan dalam format tabel dan secara grafis *time series* untuk menunjukkan kedudukan permukaan laut rata-rata selama 9 tahun tersebut. Data pasang surut dianalisis dengan rumus berikut ini untuk memperoleh nilai MSL setiap bulannya (Pariwono,1995):

$$Xi = \frac{1}{N} \times \sum_{j=1}^n Xj$$

Dimana Xi adalah rata-rata tinggi muka air laut pada bulan ke i , N adalah jumlah jam pemantauan dalam sebulan, Xj adalah tinggi permukaan laut pada jam ke j .

Perhitungan MSL setiap bulan, nilai MSL tahunan ditentukan menggunakan rumus di atas. Ketinggian air tertinggi dan ketinggian air terendah ditentukan secara manual dengan menghitung nilai pasang surut tertinggi dan terendah pada bulan tersebut. Nilai tertinggi menunjukkan nilai HHWL dan nilai terendah menunjukkan ketinggian LLWL.

Pengolahan data pasang surut observatorium Pondok Dayung Tanjung Priok Jakarta yang diperoleh dari BIG antara tahun 2015-2023 dianalisis menggunakan metode statistik untuk mendapatkan nilai MSL bulanan, sedangkan metode admiralty digunakan untuk mengetahui konstanta harmonik dan jenis pasang surut. Perhitungan tipe pasang surut menggunakan rumus berikut ini.

$$F = \frac{K1 + O1}{M2 + S2}$$

Dimana, F adalah Bilangan *formzahl*, AO_1 adalah Amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan, AK_1 adalah Amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan dan matahari, AM_2 adalah Amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan dan AS_2 adalah Amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan dan matahari.

Metode Analisa Laju Kenaikan Permukaan Air Laut

Persamaan regresi linier sederhana digunakan untuk menentukan rata-rata fluktuasi permukaan air laut setiap tahunnya. Data MSL bulanan dari tahun 2015-2023 dikategorikan ke dalam grafik bulanan. Nilai fluktuasi ditentukan dengan menggunakan rumus (Triatmodjo, 1999).

$$g(x) = a + bx$$

Dimana g adalah peubah tak bebas, x adalah peubah bebas, a adalah konstanta (nilai dari $g(x)$ ketika $x = 0$), b adalah kelandaian (*slope*) kurva garis lurus/ koefisien regresi. Nilai a dan b dihitung menggunakan rumus berikut ini:

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - [\sum_{i=1}^n X_i][\sum_{i=1}^n Y_i]}{\sum_{i=1}^n X_i^2 - [\sum_{i=1}^n X_i]^2}$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} - b \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Dimana n adalah banyak pasangan data, Y_i adalah nilai variabel tak bebas Y ke- i , X_i adalah nilai variabel bebas X ke- i .

HASIL DAN PEMBAHASAN

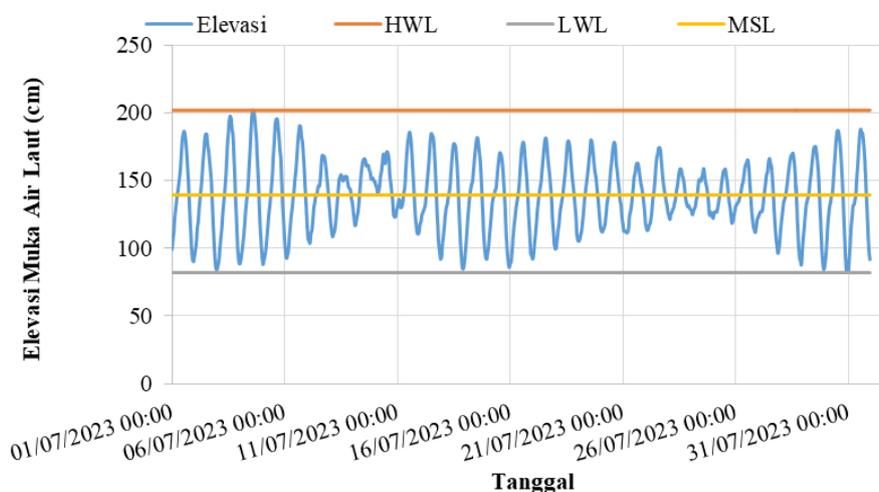
Karakteristik Pasang Surut di Perairan Jakarta

Konstanta harmonik pasang surut yang dihasilkan di lokasi penelitian disajikan dalam Tabel 1. Nilai pasang tertinggi dan surut terendah yang terukur oleh alat perekam pasang surut adalah 202 cm dan 82 cm. Komponen harmonik pasang surut yang dihasilkan di setiap perairan kemudian dianalisis dengan melakukan perhitungan untuk mengetahui nilai MSL adalah 139,39 cm. Nilai Formzahl (F) menjadi dasar penentuan jenis pasang surut di wilayah tersebut. Perhitungan nilai formzahl untuk menentukan pasang surut sebenarnya dilakukan dengan mengolah komponen harmonik, yaitu K_1 , O_1 , M_2 dan S_2 . Amplitudo konstanta di Perairan Jakarta K_1 ; O_1 dan M_2 ; S_2 bernilai 53,59; 18,08 dan 5,57; 3,46. Hasil pada Tabel 1 menunjukkan bahwa di wilayah Jakarta, nilai amplitudo komponen harmonik (K_1 , O_1 , dan P_1) penyusun pasang surut diurnal lebih besar dibandingkan dengan komponen harmonik penyusun *semidiurnal tide* (M_2 , S_2 , N_2 , dan K_2).

Berdasarkan hasil pengolahan data pasang surut pada bulan Juli 2023 diperoleh bilangan formzahl untuk wilayah perairan Jakarta adalah 7,94. Berdasarkan nilai tersebut dapat terlihat bahwa jenis pasang surut di wilayah laut Jakarta adalah jenis pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*) yang ditampilkan pada Gambar 2.

Tabel 1. Perhitungan Konstanta Harmonik Pasang Surut Perairan Jakarta.

	S0	M2	S2	N2	K1	O1	M4	MS4	K2	P1
A cm	139,39	5,57	3,46	1,35	53,59	18,08	0,53	0,39	0,93	17,69
g°		222	80	354	69	23	180	163	80	69
F						7,94				



Gambar 2. Grafik pasang surut perairan Tanjung Priok Jakarta bulan Januari 2023.

Artinya, nilai formzahl yang diperoleh adalah $F > 3$. Pada Perairan Pondok Dayung Tanjung Priok Jakarta terjadi satu kali pasang dan satu kali surut dalam sehari. Hal ini didukung oleh penelitian Adriansyah *et al.* (2024), menyatakan bahwa jenis pasang surut di wilayah perairan Pondok Dayung Tanjung Priok merupakan tipe pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*). Tipe pasang surut *diurnal* yang terjadi di kawasan perairan Jakarta juga didukung oleh pernyataan Heriati *et al.* (2015), menyatakan bahwa jenis pasang surut yang sama terjadi juga di wilayah Selat Karimata yang mengakibatkan setiap hari terjadinya satu kali pasang dan satu kali surut.

Fluktuasi Muka Air Laut di Perairan Jakarta

Nilai rata-rata tahunan yang dihasilkan menunjukkan fluktuasi tinggi muka air laut di wilayah Jakarta semakin meningkat. Nilai MSL per bulan dan per tahun ditunjukkan dalam format tabel dan dideskripsikan secara grafis untuk memudahkan analisis laju peningkatan permukaan air laut tahunan. Nilai MSL setiap bulan dan setiap tahun yang telah dihitung ditunjukkan pada Tabel 2 - 5.

Nilai MSL setiap bulan pada perairan Tanjung Priok Jakarta ditampilkan juga secara grafis, sehingga jelas terlihat peningkatan nilai MSL bulanan selama 9 tahun, mulai dari tahun 2015 hingga tahun 2023. Tren kenaikan permukaan laut rata-rata dalam grafik menunjukkan peningkatan sebesar 0,0057 cm/bulan. Gambar 3 menunjukkan grafik analisis data pasang surut wilayah perairan Jakarta untuk menghitung nilai MSL bulanan.

Tabel 2. MSL bulanan di Perairan Tanjung Priok Jakarta tahun 2015-2023.

Bulan	Tahun								
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Januari	126,37	121,48	131,65	109,72	116,98	136,08	135,91	125,93	135,99
Februari	118,03	84,25	124,73	104,74	118,60	150,15	128,71	127,48	122,39
Maret	122,25	103,04	122,45	118,46	125,81	145,34	132,55	131,92	129,17
April	126,21	137,13	127,88	138,29	105,27	104,08	137,50	135,93	125,17
Mei	141,71	136,17	139,32	156,33	125,00	130,94	144,59	142,92	145,66
Juni	135,77	123,01	138,37	149,92	123,19	162,85	146,26	147,37	143,11
Juli	131,24	126,09	126,03	126,40	121,81	155,00	144,85	147,70	139,39
Agustus	108,64	127,54	131,90	125,78	125,03	139,86	142,34	149,18	136,54
September	102,41	128,86	123,87	121,86	118,21	136,76	141,58	146,83	134,18
Oktober	106,77	123,84	126,63	124,43	127,88	138,83	139,56	68,17	130,01
November	105,72	127,39	127,55	123,86	97,41	139,53	138,67	145,14	128,02
Desember	102,64	121,45	122,28	76,25	96,92	134,83	141,88	144,92	116,63
Total	118,98	121,69	128,56	123,00	116,84	139,52	139,53	134,46	132,19

Tabel 3. MSL bulanan di Perairan Lautoka Fiji Island tahun 2015-2023.

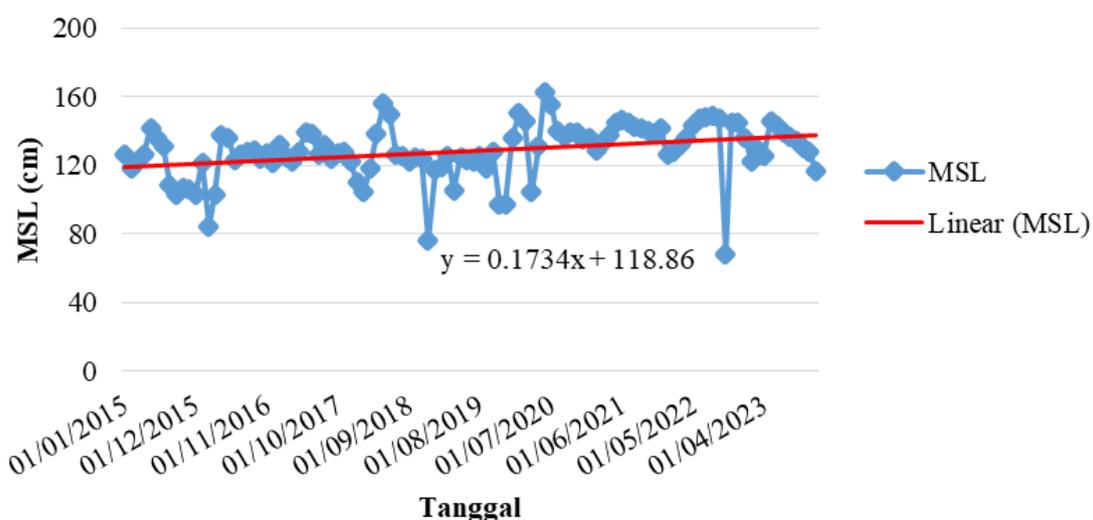
Bulan	Tahun								
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Januari	132,07	124,31	124,31	132,01	134,33	133,57	132,36	138,46	140,72
Februari	127,96	132,60	132,60	130,80	124,30	132,22	121,88	138,93	136,56
Maret	130,16	125,91	125,91	140,01	116,82	129,03	134,25	144,54	139,07
April	127,17	124,01	124,01	134,61	117,36	127,81	139,91	145,05	136,49
Mei	122,45	113,83	128,47	132,80	119,34	124,02	135,27	137,55	135,52
Juni	119,66	121,01	127,13	132,78	126,06	126,83	134,38	136,48	128,57
Juli	118,25	122,08	125,73	136,23	126,43	129,81	137,23	138,55	130,27
Agustus	121,09	124,06	130,63	135,16	125,29	130,23	133,06	141,28	128,93
Septembere	125,11	127,17	131,60	139,08	126,80	133,36	135,16	142,81	132,51
Oktober	128,36	128,36	134,45	139,86	128,64	135,61	137,43	140,75	130,56
November	134,40	134,40	134,28	139,18	132,75	133,22	136,50	138,72	133,54
Desember	133,66	133,66	132,01	141,65	136,84	131,10	141,76	141,55	134,71
Total	126,70	125,95	129,26	136,18	126,25	130,57	134,93	140,39	133,95

Tabel 4. MSL bulanan di Perairan Honiara, Kepulauan Solomon tahun 2015-2023.

Bulan	Tahun								
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Januari	74,97	55,34	76,84	55,34	70,91	68,06	90,59	84,85	95,37
Februari	75,32	55,48	76,26	55,48	68,46	64,66	88,96	68,75	93,65
Maret	72,02	50,74	88,84	79,02	72,96	67,06	91,19	95,15	93,53
April	66,87	51,07	90,00	81,27	70,52	77,18	90,61	96,93	77,40
Mei	67,54	59,21	80,02	79,43	70,76	78,37	82,55	90,24	
Juni	64,22	63,62	69,28	75,49	67,14	77,94	78,15	83,87	
Juli	59,39	60,03	60,75	73,46	67,23	72,96	76,32	85,94	68,81
Agustus	58,42	62,34	61,66	72,45	68,85	76,13	74,50	86,13	61,57
September	57,76	65,77	65,77	73,70	67,78	75,60	78,36	85,99	64,77
Oktober	61,34	69,99	69,99	74,63	70,87	78,09	80,95	89,30	89,30
November	62,96	75,42	75,42	75,68	72,17	78,18		87,62	66,58
Desember	61,89	72,01	72,01	77,16	71,55	82,83		95,73	66,17
Total	65,23	61,75	73,90	72,76	69,93	74,76	83,22	87,54	77,72

Tabel 5. MSL bulanan di Perairan Port Vila Vanuatu tahun 2015-2023.

Bulan	Tahun								
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Januari	89,45	88,60	85,11	89,93	85,20	89,58	90,78	89,94	105,87
Februari	76,64	90,40	78,91	79,22	90,33	92,42	84,92	87,61	102,31
Maret	82,78	84,42	76,05	103,82	79,52	90,52	80,35	93,22	95,81
April	84,45	79,43	76,43	90,14	81,81	79,50	74,93	87,77	95,30
Mei	77,89	75,72	72,38	34,27	76,84	75,37	77,20	90,68	122,33
Juni	76,31	71,34	72,61	59,24	76,11	72,60	75,36	89,49	82,10
Juli	75,85	69,92	73,47	79,25	79,65	76,71	88,16	78,12	86,00
Agustus	78,70	73,98	82,21	82,87	81,12	83,32	90,29		86,00
September	78,24	80,70	85,68	85,37	77,04	88,74	88,00	37,75	86,00
Oktober	78,27	81,77	88,01	86,01	82,29	91,44	91,29	91,11	88,57
November	79,53	82,90	85,70	87,86	78,60	82,80	89,32	100,18	104,12
Desember	85,78	90,06	90,02	87,21	86,37	87,42	90,97	107,31	93,17
Total	80,32	80,77	80,55	80,43	81,24	84,20	85,13	86,65	95,63

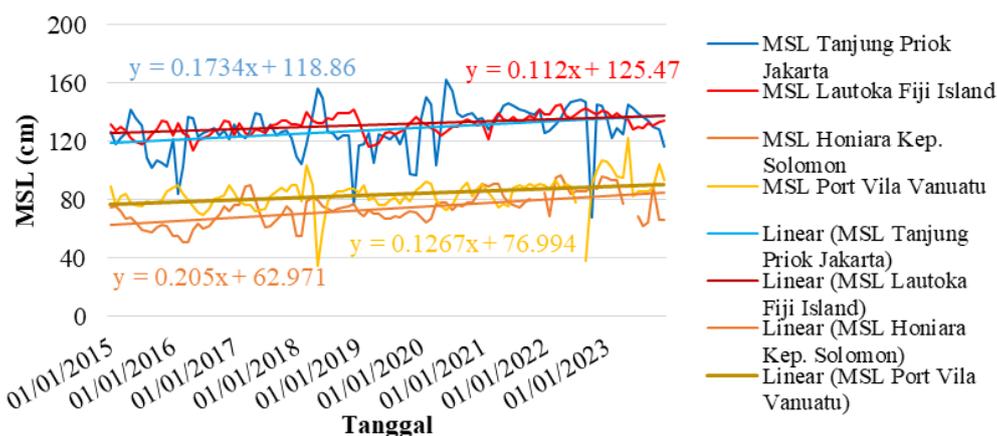


Gambar 3. Grafik nilai MSL bulanan Perairan Tanjung Priok Jakarta tahun 2015-2023.

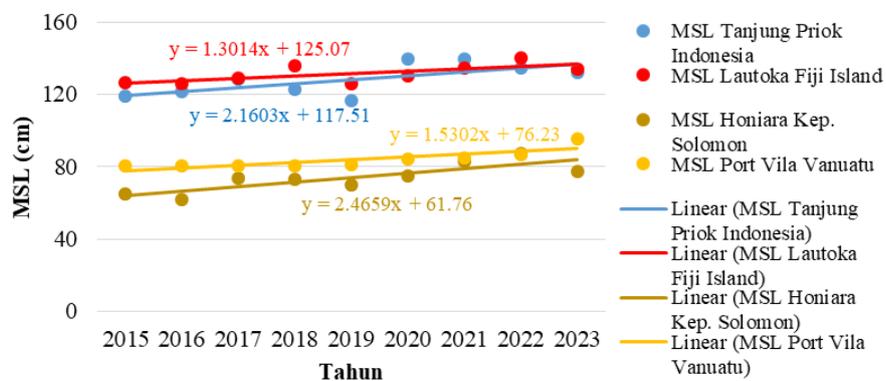
Perbandingan Fluktuasi Muka Air Laut Perairan Jakarta dengan Perairan-Perairan Lain di Samudera Pasifik

Berdasarkan metode pengolahan data yang sama dengan data pasang surut Perairan Tanjung Priok Jakarta, maka data pasang surut stasiun Lautoka Fiji Island, stasiun Honiara Kepulauan Solomon, dan stasiun Port Vila Vanuatu yang diperoleh dari IOC tahun 2015-2023 yang telah diolah juga menghasilkan nilai MSL bulanan yang kemudian dirata-ratakan setiap tahunnya selama 9 tahun sehingga menghasilkan nilai MSL tahunan pada tahun 2015-2023. Dari nilai rata-rata per tahun tersebut, terlihat fluktuasi muka air laut perairan Jakarta, perairan Lautoka Fiji Island, perairan Honiara Kepulauan Solomon, dan perairan Port Vila Vanuatu yang cenderung mengalami kenaikan. Nilai MSL bulanan dan tahunan ditampilkan dalam bentuk grafik agar terlihat laju kenaikan muka air laut per tahun. Grafik yang dihasilkan menunjukkan tren kenaikan muka air laut rata-rata bulanan, yaitu sebesar 0,1734 cm di perairan Jakarta, 0,112 cm di perairan Lautoka Fiji Island, 0,205 cm di perairan Honiara Kepulauan Solomon, dan 0,1267 cm di perairan Port Vila Vanuatu dalam satu tahun. Grafik hasil analisis data pasang surut perairan Jakarta, perairan Lautoka Fiji Island, perairan Honiara Kepulauan Solomon, dan perairan Port Vila Vanuatu yang menghasilkan nilai MSL bulanan (Gambar 4).

Dari nilai MSL tahunan yang didapatkan, terlihat nilai MSL dalam kurun waktu 9 tahun pada keempat lokasi tersebut mengalami kenaikan. Nilai MSL di perairan Tanjung Priok Jakarta dari tahun 2015 yang sebesar 118,98 cm menjadi 132,19 cm pada tahun 2023, di perairan Lautoka Fiji Island dari tahun 2015 yang sebesar 126,70 cm menjadi 133,95 cm pada tahun 2023, di perairan Honiara Kepulauan Solomon dari tahun 2015 yang sebesar 65,23 cm menjadi 77,72 cm pada tahun 2023, dan di perairan Port Vila Vanuatu dari tahun 2015 yang sebesar 80,32 cm menjadi 95,63 cm pada tahun 2023. Grafik laju kenaikan muka laut berdasarkan nilai MSL tahunan disajikan pada Gambar 5. Selain itu, hasil selisih nilai MSL setiap tahunnya pada tahun 2015-2023 yang dirata-ratakan menghasilkan data laju kenaikan muka laut yang disajikan pada Tabel 6.



Gambar 4. Grafik nilai MSL bulanan Perairan Tanjung Priok Jakarta, Perairan Lautoka Fiji Island, Perairan Honiara Kepulauan Solomon, dan Perairan Port Vila Vanuatu tahun 2015-2023.



Gambar 5. Grafik laju kenaikan muka air laut berdasarkan nilai MSL tahunan Perairan Tanjung Priok Jakarta, Perairan Lautoka Fiji Island, Perairan Honiara Kepulauan Solomon, Perairan Port Vila Vanuatu tahun 2015-2023

Tabel 6. Laju Kenaikan Muka Air Laut Perairan Jakarta dengan Muka Air Laut Perairan-Perairan Lainnya di Samudera Pasifik per- Satu Tahun Selama Periode Tahun 2015-2023.

Selisih Kenaikan Muka Air (cm)				
Tahun	Tanjung Priok Jakarta Indonesia	Lautoka Fiji Island	Honiara Kepulauan Solomon	Port Vila Vanuatu
2015-2016	+2,71	-0,74	-3,47	+0,45
2016-2017	+6,87	+3,31	+12,15	-0,22
2017-2018	-5,55	+6,92	-1,14	-0,12
2018-2019	-6,16	-9,93	-2,83	+0,81
2019-2020	+22,68	+4,32	+4,82	+2,96
2020-2021	+0,01	+4,36	+8,46	+0,93
2021-2022	-5,08	+5,46	+4,32	+1,52
2022-2023	-2,27	-6,44	-9,83	+8,98
Rata-rata/ Tahun	+1,65	+0,91	+1,56	+1,91

Analisis Fluktuasi Muka Air Laut di Perairan Jakarta

Secara umum, fluktuasi muka air laut yang terjadi di Perairan Tanjung Priok Jakarta ditunjukkan pada Gambar 5, yaitu nilai muka air laut rata-rata atau MSL tahunan yang diperoleh mengalami kenaikan dan penurunan setiap tahunnya. Dari pengolahan data dengan rentang tahun 2015-2023, diperoleh nilai MSL rata-rata tahunan maksimum pada tahun 2021 sebesar 139,53 cm ini terjadi karena pada tahun ini nilai pasang yang terjadi sangat tinggi dari pada tahun sebelumnya (2015-2020) dan tahun sesudahnya (2022-2023). Sementara untuk nilai MSL rata-rata tahunan minimum diperoleh pada tahun 2019 sebesar 116,84 cm ini dikarena pada tahun 2019 terjadi El-Nino yang menyebabkan suhu permukaan laut menurun dan menurunnya intensitas hujan sehingga pasang yang terjadi sangat kecil dibandingkan tahun sebelumnya (2015-2018) dan tahun sesudahnya (2020-2023). Gambar 3 menunjukkan tren atau kecenderungan kenaikan elevasi muka air laut rata-rata bulanan mengikuti pola linear melalui persamaan berikut: $y = 0,1734x + 118,86$ dengan keterangan $y = \text{MSL (cm)}$, dan nilai $x = \text{waktu dalam bulan}$, sedangkan 118,86 merupakan *intercept* yang menunjukkan nilai muka air laut saat $x=0$. Hal ini berarti bahwa pada awal periode pengamatan (tahun 2015), nilai MSL diperkirakan berada di sekitar $118,86 \pm 10,49$ cm di bawah permukaan laut. Dengan demikian laju atau tren kenaikan muka air laut dalam 1 bulan yaitu sebesar 0,1734 cm sehingga dalam 1 tahun muka air laut diperkirakan naik sekitar 2,08 cm.

Nilai fluktuasi terbesar terjadi pada tahun 2019-2020 yaitu sebesar 22,68 cm, yang disebabkan oleh perubahan dari fase El-Nino ke normal. Nilai fluktuasi terkecil terjadi pada tahun 2017-2018 yaitu sebesar -5,55 cm karena terjadinya perubahan fase dari normal ke El-Nino. Besar kecilnya nilai fluktuasi muka air laut berkaitan dengan fenomena *Indian Ocean Dipole (IOD)* dan *El Nino Southern Oscillation (ENSO)* berkaitan erat dengan suhu permukaan laut yang dapat mempengaruhi fluktuasi curah hujan di Indonesia yang dapat berdampak pada fluktuasi muka air laut. Menurut Asyam *et al.* (2024), kondisi El-Nino curah hujan lebih rendah dibandingkan sebelum dan sesudah El-Nino sehingga dapat menyebabkan musim kemarau menjadi lebih lama. Kondisi La-Nina curah hujan lebih tinggi sehingga menyebabkan musim hujan lebih lama. kondisi IOD positif menyebabkan curah hujan di Indonesia menjadi lebih rendah, sebaliknya saat kondisi IOD negatif curah hujan di Indonesia menjadi sangat tinggi. Dalam penelitian Sofian (2007) mengaitkan peningkatan permukaan air laut selama masa peralihan dari El-Nino ke La-Nina dengan peningkatan angin pasat di perairan Pasifik membawa sejumlah massa air dari perairan Pasifik Timur sekitar Peru menuju perairan Indonesia, yang diketahui melalui kenaikan permukaan laut. Hal ini menyebabkan peningkatan gradien permukaan laut sehingga menyebabkan permukaan air laut di Indonesia lebih tinggi 1 m daripada permukaan air laut di perairan Peru. Namun tren angin setempat merupakan angin barat yang disebabkan berkurangnya tekanan atmosfer di wilayah laut Darwin dan laut Indonesia, sehingga menyebabkan penurunan permukaan air laut di wilayah Indonesia. Oleh karena itu, besarnya fluktuasi permukaan air laut di perairan Jakarta selama tahun 2019-2020 kemungkinan besar dipengaruhi oleh kondisi IOD yang berinteraksi dengan fenomena La-Nina dan El-Nino. Ketika La-Nina dan IOD negatif berlangsung bersamaan, curah hujan dapat meningkat secara signifikan, sehingga dapat memperburuk fluktuasi permukaan laut.

Kenaikan fluktuasi permukaan laut di perairan Tanjung Priok Jakarta cukup tinggi karena sebanding terhadap kota-kota metropolitan di pesisir utara Pulau Jawa yang terkena dampak peningkatan permukaan air laut, seperti kota Surabaya 2,72 mm/tahun dan di Semarang 2,22 mm/tahun (Shalsabilla *et al.*, 2022). Tren atau laju kenaikan permukaan air laut yang berlangsung di perairan Tanjung Priok Kota Jakarta disebabkan oleh dua aspek utama, yaitu perubahan iklim global dan perubahan lingkungan regional. Menurut Filho *et al.* (2020), pendorong utama kenaikan permukaan air laut adalah pemanasan global, yang menyebabkan mencairnya gletser dan lapisan es di kutub. Ketika suhu global meningkat, cadangan es ini menyumbangkan air tawar yang signifikan ke lautan, yang mengarah ke permukaan laut yang lebih tinggi secara keseluruhan. Selain faktor global, perubahan lingkungan setempat seperti penurunan permukaan tanah dapat memperburuk kenaikan permukaan laut di negara-negara kepulauan. Hal ini dapat terjadi karena proses geologi alami atau aktivitas manusia seperti pertambangan atau praktik penggunaan lahan yang tidak berkelanjutan. Sebagai contoh, erosi pantai, yang dipercepat oleh kenaikan permukaan laut, juga mengancam stabilitas daratan, sehingga memperparah kesulitan lokal. Namun penelitian ini hanya mempertimbangkan kenaikan permukaan air laut tanpa memperhitungkan dampak degradasi permukaan tanah yang berlangsung di Jakarta.

Khojasteh *et al.* (2023), menyatakan bahwa kenaikan muka air laut akibat perubahan iklim karena mencairnya es di kutub-kutub bumi sehingga volume air laut bertambah dalam jumlah besar akan menyebabkan tergenangnya dataran rendah yang semula kering, meningkatnya aliran air laut (salinitas) ke muara dan akuifer (mengganggu sumber air bersih masyarakat). Dampak dari kenaikan permukaan laut rata-rata global yaitu memperparah banjir dan genangan air di wilayah pesisir dataran rendah, meningkatnya erosi pantai, rusaknya ekosistem pesisir, intrusi air asin ke muara atau akuifer, perubahan penengondapan sedimen di sepanjang alur sungai serta rusaknya lingkungan alam dan lingkungan manusia (Mimura, 2013).

Untuk mengatasi dampak dari kenaikan muka air laut akibat perubahan iklim di Pesisir Kota Jakarta diperlukan strategi dan adaptasi terhadap perubahan-perubahan lingkungan dan sosial di sekitar wilayahnya, secara keseluruhan terdapat beberapa adaptasi masyarakat pesisir seperti: memperbaiki bangunan tempat tinggal mereka seperti membuat tanggul untuk menghalangi air masuk, meninggikan lantai rumah dan membuat saluran di sekitar rumahnya, menyediakan air bersih untuk dikonsumsi berupa pasokan PAM, dan penanaman vegetasi mangrove yang digunakan sebagai tanggul alami di sekitaran pantai. Upaya konstruksi fisik pun dilakukan dengan melakukan rekayasa konstruksi untuk membangun suatu fasilitas perlindungan agar kondisi permukiman warga tidak menjadi rusak. Upaya fisik yang dilakukan adalah dengan membangun pemecah arus, tembok laut, tanggul, konstruksi perlindungan dan rumah panggung.

Analisis Perbandingan Fluktuasi Muka Air Laut Perairan Jakarta dengan Perairan-Perairan Lain di Samudera Pasifik

Fluktuasi muka air laut yang terletak di Perairan Tanjung Priok Jakarta, Perairan Lautoka Fiji Island, Perairan Honiara Kepulauan Solomon, dan Perairan Port Vila Vanuatu ditunjukkan pada Gambar 5, yaitu nilai muka air laut rata-rata atau MSL tahunan yang diperoleh mengalami kenaikan. Di Perairan Tanjung Priok Jakarta nilai MSL rata-rata tahunan maksimum diperoleh pada tahun 2021 sebesar 139,53 cm dan nilai MSL rata-rata tahunan minimum diperoleh pada tahun 2019 sebesar 116,84 cm. Di Perairan Lautoka Fiji Island, nilai MSL rata-rata tahunan maksimum diperoleh pada tahun 2022 sebesar 140,39 cm dan nilai MSL rata-rata tahunan minimum diperoleh pada tahun 2016 sebesar 125,95 cm. Di Perairan Honiara Kepulauan Solomon, nilai MSL rata-rata tahunan maksimum diperoleh pada tahun 2022 sebesar 87,54 cm dan nilai MSL rata-rata tahunan minimum diperoleh pada tahun 2016 sebesar 61,75 cm. Di perairan Port Vila Vanuatu, nilai MSL rata-rata tahunan maksimum diperoleh pada tahun 2023 sebesar 95,63 cm dan nilai MSL rata-rata tahunan minimum diperoleh pada tahun 2015 sebesar 80,32 cm.

Tren fluktuasi kenaikan muka air laut rata-rata bulanan Perairan Jakarta, Lautoka Fiji Island, Honiara Kepulauan Solomon dan Port Vila Vanuatu ditunjukkan pada Gambar 4. Tren atau kecenderungan kenaikan MSL bulanan mengikuti pola linear melalui persamaan berikut: untuk wilayah Perairan Tanjung Priok Jakarta adalah $y = 0,1734x + 118,86$ dengan keterangan $y = \text{MSL (cm)}$, dan nilai $x = \text{bulan}$, dengan demikian laju atau tren kenaikan muka air laut dalam 1 bulan yaitu sebesar 0,1734 cm. Hal ini berarti bahwa pada awal periode pengamatan (tahun 2015), nilai MSL diperkirakan berada di sekitar $118,86 \pm 10,49$ cm di bawah permukaan laut. Untuk wilayah Perairan Lautoka Fiji Island adalah $y = 0,112x + 125,47$ dengan keterangan $y = \text{MSL (cm)}$, dan nilai $x = \text{bulan}$, dengan demikian laju atau tren kenaikan muka air laut dalam 1 bulan yaitu sebesar 0,112 cm. Hal ini berarti bahwa pada awal periode pengamatan (tahun 2015), nilai MSL diperkirakan berada di

sekitar $125,47 \pm 4,45$ cm di bawah permukaan laut. Untuk wilayah Perairan Honiara Kepulauan Solomon adalah $y = 0,205x + 62,927$ dengan keterangan $y = \text{MSL (cm)}$, dan nilai $x = \text{bulan}$, dengan demikian laju atau tren kenaikan muka air laut dalam 1 bulan yaitu sebesar 0,205 cm. Hal ini berarti bahwa pada awal periode pengamatan (tahun 2015), nilai MSL diperkirakan berada di sekitar $62,927 \pm 9,69$ cm di bawah permukaan laut. Untuk wilayah Perairan Port Vila Vanuatu adalah $y = 0,1267x + 76,994$ dengan keterangan $y = \text{MSL (cm)}$, dan nilai $x = \text{bulan}$, dengan demikian laju atau tren kenaikan muka air laut dalam 1 bulan yaitu sebesar 0,1267 cm. Hal ini berarti bahwa pada awal periode pengamatan (tahun 2015), nilai MSL diperkirakan berada di sekitar $76,994 \pm 7,32$ cm di bawah permukaan laut.

Untuk tren fluktuasi kenaikan muka air laut rata-rata tahunan Perairan Jakarta, Lautoka Fiji Island, Honiara Kepulauan Solomon dan Port Vila Vanuatu ditunjukkan pada Untuk tren fluktuasi kenaikan muka air laut rata-rata tahunan Perairan Jakarta, Lautoka Fiji Island, Honiara Kepulauan Solomon dan Port Vila Vanuatu ditunjukkan pada Gambar 5 terjadi tren atau kecenderungan kenaikan elevasi muka air laut rata-rata tahunan mengikuti pola linear melalui persamaan berikut: untuk wilayah Perairan Tanjung Priok Jakarta adalah $y = 2,1603x + 117,51$ dengan keterangan $y = \text{MSL (cm)}$, dan nilai $x = \text{tahun}$, dengan demikian laju atau tren kenaikan muka air laut dalam 1 tahun yaitu sebesar 2,1603 cm, untuk wilayah Perairan Lautoka Fiji Island adalah $y = 1,3014x + 125,07$ dengan keterangan $y = \text{MSL (cm)}$, dan nilai $x = \text{tahun}$, dengan demikian laju atau tren kenaikan muka air laut dalam 1 tahun yaitu sebesar 1,3014 cm, untuk wilayah Perairan Honiara Kepulauan Solomon adalah $y = 2,4659x + 61,76$ dengan keterangan $y = \text{MSL (cm)}$, dan nilai $x = \text{tahun}$, dengan demikian laju atau tren kenaikan muka air laut dalam 1 tahun yaitu sebesar 2,4659 cm, untuk wilayah Perairan Port Vila Vanuatu adalah $y = 1,5302x + 76,23$ dengan keterangan $y = \text{MSL (cm)}$, dan nilai $x = \text{tahun}$, dengan demikian laju atau tren kenaikan muka air laut dalam 1 tahun yaitu sebesar 1,5302 cm.

Kenaikan muka air laut di Perairan Tanjung Priok Jakarta, Perairan Lautoka Fiji Island, Perairan Honiara Kepulauan Solomon, dan Perairan Port Vila Vanuatu dapat dikatakan cukup tinggi karena sebanding dengan kenyataan yang terjadi di negara-negara kepulauan berkembang dengan naiknya muka air laut, sama seperti negara-negara kepulauan kecil yang sedang berkembang yaitu Nauru dengan laju 3,8 mm/tahun, Pago-pago (Samoa Amerika) dengan laju 2,9 mm/tahun dan Rikitea (Polinesia Prancis) dengan laju 3,4 mm/tahun. Meningkatnya fluktuasi muka air laut di negara-negara kepulauan kecil berkembang ini juga diperkuat dengan pernyataan Martínez-Asensio *et al.* (2019) bahwa tren fluktuasi muka air laut yang terjadi di pulau-pulau tropis Pasifik secara signifikan lebih tinggi daripada fluktuasi muka air laut rata-rata global dimana tren kenaikan di Perairan Lautoka Fiji sebesar 5,4 mm/tahun, Honiara Kepulauan Solomon sebesar 2,8 mm/tahun, dan Port Vila Vanuatu 2,8 mm/tahun, sedangkan tren kenaikan muka air laut rata-rata global sebesar 3,2 mm/tahun.

Besar laju fluktuasi muka air laut (Tabel 6) terlihat cenderung mengalami peningkatan setiap tahunnya. Hal tersebut dibuktikan oleh grafik besar kenaikan muka air laut berdasarkan nilai MSL tahunan yang cenderung terus meningkat. Laju atau tren fluktuasi muka air laut pada studi ini bersumber dari nilai MSL tahunan yang didapat berdasarkan rata-rata nilai MSL bulanan selama rentang tahun 2015-2023. Perbedaan kenaikan muka air laut yang terjadi di Perairan Jakarta, Perairan Lautoka Fiji, Perairan Honiara Kepulauan Solomon, Perairan Port Vila Vanuatu yang didapatkan pada penelitian ini mengalami pola fluktuatif naik turun sehingga hasil analisis data didapatkan nilai laju atau kecenderungan kenaikan muka air laut pada Perairan Jakarta mencapai $1,65 \pm 0,34$ cm/tahun, Perairan Lautoka Fiji mencapai $0,91 \pm 0,33$ cm/tahun, Perairan Honiara Kepulauan Solomon mencapai $1,56 \pm 0,59$ cm/tahun, dan Perairan Port Vila Vanuatu mencapai $1,91 \pm 0,36$ cm/tahun. Laju kenaikan muka air laut paling rendah berada di Perairan Lautoka Fiji Island, sedangkan laju atau kecenderungan kenaikan muka air laut paling tinggi berada di Perairan Port Vila Vanuatu. Selanjutnya, laju tren kenaikan muka air laut rata-rata tertinggi kedua adalah Perairan Tanjung Priok Indonesia dan laju tren kenaikan muka air laut rata-rata tertinggi ketiga adalah Perairan Honiara Kepulauan Solomon. Tingginya laju kenaikan muka air laut di Perairan Kepulauan Solomon diperkuat oleh penelitian Filho *et al.* (2020) yang menyatakan bahwa kenaikan permukaan laut di negara-negara kepulauan kecil yang sedang berkembang merupakan masalah signifikan, terutama untuk lokasi-lokasi seperti Kepulauan Solomon, dimana lajunya lebih tinggi daripada rata-rata global. Di Kepulauan Solomon, kenaikan permukaan laut antara 7-10 mm/tahun, berarti sekitar tiga kali lipat dari rata-rata global sebesar 2,2 mm/tahun.

Laju atau tren fluktuasi muka air laut di Perairan Tanjung Priok Jakarta sebesar $1,65 \pm 0,34$ cm/tahun. Laju atau kecenderungan kenaikan muka air laut di Perairan Tanjung Priok Jakarta lebih rendah dibandingkan dengan laju kenaikan muka air laut di Perairan Port Vila Vanuatu, tetapi lebih tinggi dibandingkan dengan laju kenaikan muka air laut di Perairan Honiara Kepulauan Solomon dan Perairan Lautoka Fiji Island. Namun,

fluktuasi muka air laut di Perairan Jakarta dengan Perairan Lautoka Fiji Island, Perairan Honiara Kepulauan Solomon, dan Perairan Port Vila Vanuatu secara umum mengalami kenaikan fluktuasi muka air laut yang sangat tinggi. Tren fluktuasi permukaan laut di Perairan Jakarta berkaitan erat juga dengan GMSL, tetapi menunjukkan variasi regional yang berbeda karena faktor-faktor lokal. Pernyataan ini diperkuat oleh penelitian Mimura (2013), yang menyatakan bahwa efek penurunan muka air tanah lokal, penggunaan air tanah yang berlebihan, pergerakan tektonik, dan perbedaan iklim regional yang memicu terjadinya interaksi yang kompleks yang mempengaruhi pengelolaan pesisir dan strategi adaptasi menyebabkan permukaan laut rata-rata di Perairan Jakarta meningkat dengan kecepatan sekitar 4,8 mm/tahun, yang secara signifikan lebih tinggi daripada rata-rata global sekitar 3,2 mm/tahun.

Laju atau tren kenaikan muka air laut dalam penelitian ini adalah hasil yang diperoleh hanya dari nilai MSL setiap tahun tanpa memperhitungkan faktor lainnya seperti penurunan muka tanah. Adapun penelitian terdahulu yang mengkaji kenaikan muka air laut di Jakarta oleh Triana & Wahyudi (2020) menyatakan bahwa kawasan pesisir Jakarta mengalami dampak perubahan iklim global yaitu kenaikan muka air laut teluk di teluk Jakarta sebesar 0,579 cm/tahun. Hal ini membuktikan betapa seriusnya dampak pemanasan global pada kawasan pesisir, terutama bagi kota-kota besar seperti Jakarta yang terletak di dekat garis pantai. Dalam penelitian Martínez-Asensio *et al.* (2019), kenaikan permukaan air laut relatif di pulau-pulau Pasifik tropis telah diamati secara signifikan lebih tinggi daripada kenaikan permukaan air laut rata-rata global. Selama 4-6 dekade terakhir, permukaan laut relatif di wilayah Pasifik Tropis Barat Daya telah meningkat dengan kecepatan mulai dari 0,8 mm/tahun hingga 4,2 mm/tahun lebih tinggi dari rata-rata global.

Namun nilai tren atau fluktuasi permukaan laut yang didapatkan pada studi ini menggunakan metode analisis berdasarkan hanya pada nilai MSL tahunan yang diukur di lapangan oleh BIG dan IOC selama 9 tahun yang dapat dikatakan waktu yang singkat dalam menentukan tingkat atau laju kenaikan permukaan air laut yang mewakili lokasi tersebut. Tren atau laju peningkatan permukaan air laut yang dihasilkan tanpa memperhitungkan subsidensi tanah di lokasi penelitian yaitu wilayah Tanjung Priok di Jakarta, perairan Lautoka di Fiji Island, perairan Honiara di Kepulauan Solomon, dan perairan Port Vila di Vanuatu.

KESIMPULAN

Tren kenaikan elevasi muka air laut di Perairan Jakarta mencapai 0,1734 cm/bulan selama periode 2015-2023, sedangkan tren kenaikan fluktuasi muka air lautnya adalah sebesar $1,65 \pm 0,34$ cm/tahun. Tanpa mempertimbangkan perubahan kedudukan stasiun pasang surut selama 2015-2023 di Perairan Tanjung Priok Jakarta, maka terdapat kenaikan muka air laut terbesar pada tahun 2019-2020 yaitu sebesar 22,68 cm, dan terkecil pada tahun 2020-2021 yaitu sebesar 0,01 cm. Hal ini menunjukkan bahwa fluktuasi muka air laut di Pesisir Kota Jakarta cenderung mengalami kenaikan yang cukup signifikan setiap tahunnya. Tren fluktuasi di Perairan Tanjung Priok Jakarta adalah sebesar $1,65 \pm 0,34$ cm/tahun, Perairan Lautoka Fiji Island sebesar $0,91 \pm 0,33$ cm/tahun, Perairan Honiara Kepulauan Solomon sebesar $1,56 \pm 0,59$ cm/tahun, dan Perairan Port Vila Vanuatu $1,91 \pm 0,36$ cm/tahun. Hal ini menunjukkan bahwa tren fluktuasi muka air laut yang terjadi di Perairan Jakarta dan perairan-perairan pulau-pulau tropis di Samudera Pasifik secara umum mengalami kenaikan yang sangat tinggi dan secara signifikan lebih tinggi daripada rata-rata global sekitar 3,6 mm/tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- Adriansyah, A. H., Laksmi, A. A., Christy, A., Sitorus, A. R. P., Kampai, A. M., Putra, D. R. A. & Fauzah, D. 2024. Analisis Karakteristik Pasang-Surut Menggunakan Metode Kuadrat Terkecil (Studi Kasus: Dermaga Sunda, Pondok Dayung, Jakarta Utara). *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-ilmu Teknik Sipil*, 8(2): 205-211. <https://doi.org/10.32832/komposit.v8i2.16021>.
- Asyam, A. M. D., Rochaddi, B. & Widiaratih, R. 2024. Hubungan ENSO dan IOD terhadap Suhu Permukaan laut dan Curah Hujan Di Selatan Jawa Tengah. *Indonesian Journal of Oceanography*, 6(2): 165-172. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v6i2.17274>.
- BPS. 2022. *Statistik Indonesia 2022*. Badan Pusat Statistik. Jakarta.
- Condro, B. R. & Siahaan, U. 2021. Environmentally Friendly Fish Processing Center in Muara Angke, Jakarta. *The 1st International Conference on Sustainable Architecture and Engineering*, Jakarta, Indonesia. 28 October 2020.

- Khojasteh, D., Haghani, M., Nicholls, R. J., Moftakhari, H., Sadat-Noori, M., Mach, K. J., Fagherazzi, S., Vafeidis, A. T., Barbier, E., Shamsipour, A. & Glamore, W. 2023. The evolving landscape of sea-level rise science from 1990 to 2021. *Communications Earth & Environment*, 4: 257. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00920-4>.
- Hamlington, B. D., Bellas-Manley, A., Willis, J. K., Fournier, S., Vinogradova, N., Nerem, R. S., Piecuch, C. G., Thompson, P. R. & Kopp, R. 2024. The rate of global sea level rise doubled during the past three decades. *Communications Earth & Environment*, 5(1): 601. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01761-5>.
- Heriati, A., Mustikasari, E. & Al Azhar, M. 2015. Variabilitas Pola Arus dan Gelombang di Selat Karimata. *Jurnal Segara*, 11(2). <http://dx.doi.org/10.15578/segara.v11i2.9087>.
- Filho, W. L., Ha'apio, M. O., Lütz, J. M. & Li, C. 2020. Climate change adaptation as a development challenge to small Island states: A case study from the Solomon Islands. *Environmental Science and Policy*, 107: 179-187. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.03.008>.
- Manikin, P. M. G. & Prabowo, I. A. 2021. Identifikasi Fluktuasi Muka Air Laut dengan Menggunakan Pendekatan Penginderaan Jauh Daerah Tegal, Jawa Tengah. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XIII Tahun 2020*, Yogyakarta. November 2021.
- Martínez-Asensio, A., Wöppelmann, G., Ballu, V., Becker, M., Testut, L., Magnan, A. K. & Duvat, V. K. E. 2019. Relative sea-level rise and the influence of vertical land motion at Tropical Pacific Islands. *Global and Planetary Change*, 176: 132-143. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.03.008>.
- Mimura, N. 2013. Sea-Level Rise Caused By Climate Change And Its Implications For Society. *Proceedings Of The Japan Academy. Series B, Physical and biological sciences*, 89(7): 281–301. <https://doi.org/10.2183/pjab.89.281>.
- Pariwono, J. I. 1995. *Keragaman Muka Laut Sepanjang Tepi Luar Pantai Kepulauan Sunda Besar*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Park, J., Schloesser, F., Timmermann, A., Choudhury, D., Lee, J. & Nellikattil, A. B. 2023. Future Sea-Level Projections With A Coupled Atmosphere-Ocean-Ice-Sheet Model. *Nature Communications*, 14:636. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-36051-9>.
- Rais, A., Lestari, D. A. & Arifin, W. A. 2022. Model Prediksi Kenaikan Permukaan Air Laut Menggunakan Data Satelit Altimetry Jason-1 dengan pendekatan Algoritma Long-Short Term Memory (Studi Kasus: Teluk Jakarta). *Jurnal Georaflesia: Artikel Ilmiah Pendidikan Geografi*, 7(2): 165 – 172. <https://doi.org/10.32663/georaf.v7i2.3203>.
- Sageta, Y. F., Widada, S. & Setiyono, H. 2013. Analisa Data Pasang dan Satelit Altrimetri sebagai Kajian Fluktuasi Muka Air Laut di pesisir Kota Surabaya Periode 2000-2009. *Journal of Oceanography*, 1(1), 40-48.
- Shalsabilla, A., Setiyono, H., Sugianto, D. N., Ismunarti, D. H. & Marwoto, J. 2022. Kajian fluktuasi muka air laut sebagai dampak dari perubahan iklim di perairan Semarang. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(1): 69-76. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v4i1.13183>.
- Sofian, I. 2007. Simulation of The Java Sea using an Oceanic Feneral Circulation Model. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 13(2) : 1-14.
- Sugiyono. 2012. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif Dan R&D*. Alfabeta. Bandung.
- Triana, K. & Wahyudi, A. J. 2020. Sea Level Rise in Indonesia: The Drivers and the Combined Impacts from Land Subsidence. *ASEAN Journal on Science and Technology for Development*, 37(3): 115-121. <http://dx.doi.org/10.29037/ajstd.627>.
- Triatmodjo, B. 1999. *Teknik Pantai*. Beta Offset. Yogyakarta.
- World-Meteorological-Organization. 2022. WMO Provsional State of the Global Climate 2022. Diakses pada 27 April 2023 dari <https://public.wmo.int/en>.
- Zanchettin, D., Rubinetti, S. & Rubino, A. 2022. Is the Atlantic A Source For Decadal Predictability Of Sea-Level Rise In Venice?. *Earth and Space Science*, 9(10): e2022EA002494. <https://doi.org/10.1029/2022EA002494>.