

# Prediksi Penurunan Muka Air Tanah terhadap Banjir Rob di Kawasan Pesisir Kota Jakarta

Ega Varian Okta<sup>1</sup>, Arief Adhika Widyatama<sup>1</sup>, dan Budi Utomo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sekolah Arsitektur, Perencanaan dan Pengembangan Kebijakan, Institut Teknologi Bandung

<sup>2</sup>Departemen Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

*e-mail:* arief.adhika@gmail.com

**Abstrak**—Kota Jakarta merupakan kota pesisir yang sangat rentan terhadap perubahan tinggi air laut. Selain itu, Kota Jakarta mengalami pertumbuhan yang sangat pesat sehingga kurang dapat memenuhi kebutuhan dasar penduduknya, termasuk infrastruktur air bersih, sehingga penduduk Kota Jakarta menggunakan air tanah dalam memenuhi kebutuhan air bersihnya. Pengambilan air tanah yang berlebihan di kawasan pesisir akan menyebabkan permukaan tanah menjadi semakin menurun, sehingga air laut akan masuk ke daratan. Penelitian ini bertujuan untuk dapat mengetahui kecenderungan kondisi bencana banjir rob, serta kebutuhan mitigasi bencana banjir rob di kawasan pesisir Kota Jakarta di masa yang akan datang. Variabel yang digunakan adalah penggunaan air tanah yang diproyeksikan menggunakan metode Holt-Winter, penurunan ellipsoid, dan penurunan permukaan air tanah yang diproyeksikan menggunakan metode Holt Linear, dan tren fluktuasi ketinggian air laut yang didapat dengan melalui metode SES. Melalui analisis *time series*, dapat dilakukan identifikasi dan prediksi terhadap kecamatan yang mengeksploitasi air tanah, dan diketahui bahwa Kota Jakarta akan menghadapi puncak ketinggian air laut pada tahun 2023 setinggi 2,44 mdpl ketika elevasi pesisir kota mencapai level 71,8 cm. Indikasi perencanaan mitigasinya adalah untuk melanjutkan pembangunan NCICD *seawall* hingga tahun 2023, dan mengurangi konsumsi air tanah.

**Kata Kunci**—Bencana Banjir Rob; Kawasan Pesisir; Kota Jakarta; Mitigasi; Prediksi.

## I. PENDAHULUAN

KOTA pesisir merupakan salah satu kawasan yang sangat cepat berkembang di Asia selama beberapa tahun terakhir, dan tercatat sekitar 325 juta orang saat ini tinggal di kawasan tersebut [1]. Jumlah penduduk di kawasan pesisir diprediksi akan terus bertambah, terutama dengan bertambahnya pusat perkotaan baru yang menstimulasi terjadinya migrasi masuk dalam jumlah yang besar [2] [3]. Di sisi lain, laju peningkatan muka air laut (*sea level rise*) juga meningkat selama beberapa dekade terakhir hingga 0,84 cm/tahun akibat adanya perubahan iklim, sehingga dampaknya turut dirasakan oleh penduduk yang tinggal di kawasan pesisir [4] dan terjadi penurunan muka tanah di Kota Jakarta setidaknya sejak tahun 1978 [5]. Dengan kata lain, aktivitas ekonomi terus meningkat namun kerentanan dan exposure penduduk terhadap bencana juga akan meningkat [4]. Tingginya tingkat perkembangan sosio-ekonomi kota seperti investasi finansial yang lebih besar, perkembangan pusat ekonomi, dan penambahan jumlah penduduk karena besarnya

migrasi masuk seringkali tidak diiringi dengan peningkatan ketahanan kota, terutama untuk kota-kota pesisir di negara berkembang seperti Kota Jakarta [5]. Keadaan kota yang sudah terpapar bencana seperti banjir dan rob kemudian diperparah oleh kebijakan yang tidak pro-ekologi seperti pembangunan yang mengurangi kawasan resapan air serta menambah beban tanah [6].

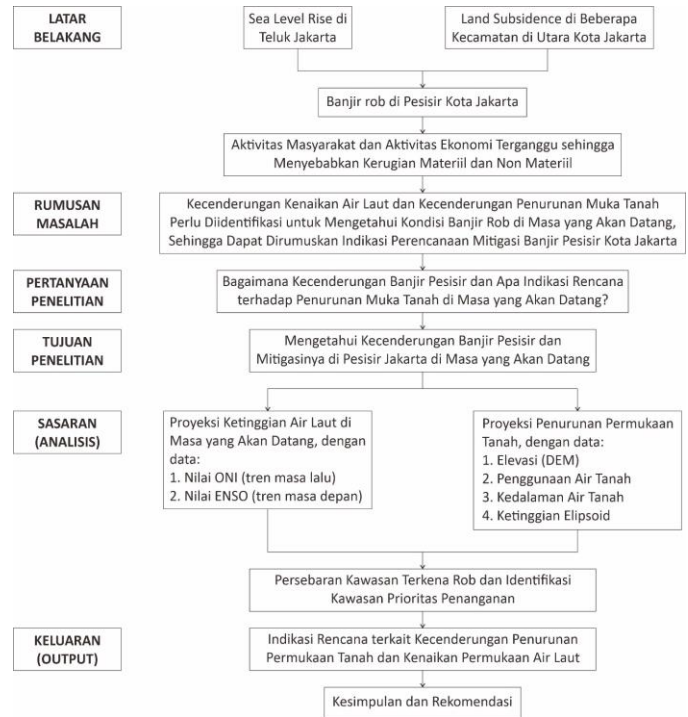
Bagian utara Kota Jakarta merupakan kawasan dengan kepadatan sangat tinggi, dan langsung berbatasan dengan laut. Beberapa penelitian *hazard assessment* seperti [2] [5] [7] [8] [9] di kawasan pesisir kota sudah dilakukan di Kota Administrasi Jakarta Utara, terutama untuk mempertimbangkan kenaikan air laut atau *sea level rise* (SLR) seiring dengan meningkatnya dampak buruk pemanasan global [2]. Hingga tahun 2020, BPBD Provinsi DKI Jakarta menyebutkan bahwa banjir tahunan masih terjadi di Kota Administrasi Jakarta Utara. Bank Indonesia menyebutkan bahwa setidaknya banjir yang terjadi di awal tahun 2020 diperkirakan menyebabkan kerugian sebesar Rp 960 miliar. Dalam BBC News Indonesia [10] menyebutkan persebaran 264 titik banjir yang sebagian besar terjadi di wilayah utara, serta mempertimbangkan guna lahan kawasan pesisir yang didominasi oleh kawasan perdagangan dan jasa serta industri, kerugian tersebut diperkirakan ditanggung lebih berat oleh wilayah ini

Beberapa penelitian terkait fenomena air laut yang masuk ke daratan telah dilakukan di pesisir Kota Jakarta untuk mengetahui karakteristiknya. Rob setidaknya disebabkan oleh beberapa faktor seperti, infiltrasi air, kurangnya drainase kawasan [11] kenaikan muka air laut, perubahan iklim [12] perubahan arah serta intensitas angin [13] elevasi serta penurunan muka tanah [14]. Ketidakseragaman topografi menyebabkan beberapa kawasan memiliki ketinggian yang lebih rendah dari kawasan sekitarnya, dan terdapat juga beberapa area yang memiliki ketinggian lebih rendah dari pasang maksimum. Adanya kawasan dengan elevasi yang lebih rendah ini memungkinkan terjadinya intrusi air laut saat terjadi pasang. Secara umum, terdapat 2 (dua) teori yang mendukung faktor penurunan tanah, yaitu (*groundwater pumping*) dan peningkatan beban di muka tanah. Aktivitas pengambilan air tanah (*groundwater pumping*) sebagian besar didorong oleh layanan air bersih PDAM yang tidak mencukupi, seperti yang terjadi di Kota Jakarta [8]. Pengambilan air tanah terjadi dalam skala kecil seperti rumah tangga, hingga skala besar yang dilakukan dari kalangan industri di pesisir Kota Jakarta, dengan tren pengambilan air

tanah berbanding lurus dengan penurunan tanah dalam kurun waktu tahun 1992 – 1999 [15]. Selain pengambilan air tanah, beban di atas permukaan tanah terus meningkat seiring dengan pesatnya perkembangan Kota Jakarta [16]. Penurunan muka tanah memiliki pola yang mengikuti tren ekstraksi material [17]. Hal ini menyebabkan tanah memadat (konsolidasi tanah aluvium) sehingga muka tanah semakin menurun.

Meskipun upaya untuk mengurangi dampak bencana rob di pesisir Kota Jakarta sudah dilakukan oleh Pemerintah Daerah Provinsi DKI Jakarta, seperti beberapa yang telah dipersiapkan dan dilakukan antara lain seperti bahan-bahan dan peralatan, stasiun pompa, normalisasi sungai dan waduk, serta pembangunan Banjir Kanal Barat dan Banjir Kanal Timur [18]. Namun, hingga tahun 2021, banjir rob masih sering terjadi di Kota Administrasi Jakarta Utara dan Kota Administrasi Jakarta Barat yang berbatasan langsung dengan Teluk Jakarta. Oleh karena itu, dibutuhkan analisis untuk mengetahui kecenderungan terjadinya banjir tiap tahunnya, terutama akibat kenaikan air laut dan penurunan muka tanah, sehingga kebijakan yang diambil pemerintah dapat menyelesaikan fenomena rob tersebut. Dengan demikian, pertanyaan yang muncul dalam rumusan masalah di atas adalah “Bagaimana kecenderungan banjir pesisir akibat kenaikan permukaan air laut dan penurunan muka tanah di masa yang akan datang?” dan “Apa indikasi rencana mitigasi yang perlu dilakukan Pemerintah Daerah Provinsi DKI Jakarta terkait rob yang disebabkan oleh kenaikan air laut dan penurunan muka tanah di masa yang akan datang?”. Dari pertanyaan penelitian di atas, diperlukan tujuan penelitian untuk dapat menjawab permasalahan yang sudah dirumuskan, sehingga tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kecenderungan kondisi banjir pesisir (rob) serta kebutuhan mitigasinya di pesisir Kota Jakarta di masa yang akan datang. Untuk mencapai tujuan tersebut, dibutuhkan beberapa sasaran, yaitu (1) Menghitung ketinggian air laut rata-rata dan ketinggian air laut maksimum di masa yang akan datang; (2) Menganalisis kecenderungan penggunaan air tanah terhadap ambang penggunaan air tanah di pesisir Kota Jakarta; dan (3) Mengidentifikasi rencana strategis untuk melakukan mitigasi bencana banjir rob berdasarkan kecenderungan kenaikan air laut dan penurunan permukaan tanah.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat dalam perencanaan pembangunan di pesisir Kota Jakarta, khususnya kawasan yang terkena dampak bencana banjir rob di pesisir Kota Jakarta. Fenomena bencana banjir rob bukanlah sesuatu yang baru terjadi di Provinsi DKI Jakarta, sehingga indikasi rencana dari pendekatan analisis kecenderungan ini diharapkan dapat memberikan pandangan korektif dengan mengidentifikasi kebutuhan perencanaan Kota Jakarta di masa yang akan datang.



Gambar 1. Kerangka Penelitian

## II. URAIAN PENELITIAN

### A. Ruang Lingkup

Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta merupakan ibukota Negara Indonesia yang terletak di pesisir Pulau Jawa, dengan luas total 662,33 km<sup>2</sup>. Kota Jakarta merupakan dataran rendah dengan ketinggian rata-rata 7 meter di atas permukaan laut, dan merupakan satu-satunya kota di Indonesia yang memiliki status setara dengan provinsi. Kota Jakarta memiliki 267 kelurahan dan 44 kecamatan yang terbagi pada 5 kabupaten/kota, yaitu Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu, Kota Administrasi Jakarta Selatan, Kota Administrasi Jakarta Timur, Kota Administrasi Jakarta Pusat, Kota Administrasi Jakarta Barat, dan Kota Administrasi Jakarta Selatan. Berdasarkan posisi geografisnya, Provinsi DKI Jakarta memiliki batas-batas sebagai berikut:

- Utara : Teluk Jakarta, Laut Jawa;
- Selatan: Provinsi Jawa Barat;
- Timur : Provinsi Jawa Barat;
- Barat : Provinsi Banten.

Banjir di pesisir Kota Jakarta terjadi di seluruh kawasan yang berbatasan langsung dengan Teluk Jakarta sekitarnya, yaitu Kecamatan Kelapa Gading, Kecamatan Koja, Kecamatan Pademangan, Kecamatan Penjaringan, Kecamatan Kalideres, Kecamatan Cengkareng, Kecamatan Grogol Petamburan, Kecamatan Kebon Jeruk, Kecamatan Tanjung Priok, Kecamatan Cilincing, dan Kecamatan Kembangan. Namun, Kota Jakarta memiliki beberapa sungai besar yang mengarah ke laut, dan beberapa dari sungai tersebut memiliki elevasi yang tidak jauh berbeda dari muaranya.

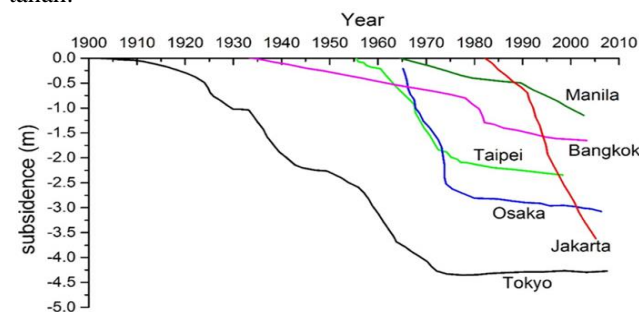


Gambar 2. Kawasan Studi Penelitian

Kecenderungan elevasi kota yang terus menurun menyebabkan kawasan yang tidak berbatasan langsung dengan pesisir turut mengalami banjir, terutama dari fenomena intrusi air laut melalui sungai. Oleh sebab itu, pemilihan lokasi kawasan studi dilakukan dengan mempertimbangkan lokasinya.

**B. Pendekatan Time Series**

Laju penurunan muka tanah pada masa yang akan datang dapat diketahui dengan mengalikan perbedaan penurunan muka tanah pada tahun dasar dengan jumlah tahun yang akan diekstrapolasikan [9]. Terjadinya penurunan muka tanah sangat berkaitan dengan pengambilan berlebih air tanah dari lapisan akuifer terkait. Penurunan tanah juga dijelaskan sebagai respon tanah pada akuifer terhadap berkurangnya *pore pressure*. Secara garis besar, tanah di lapisan lebih tinggi akan mengisi lapisan akuifer di bawahnya, yang sebelumnya dipadati oleh air tanah [19]. Oleh karena itu, jumlah volume air tanah yang diambil akan kurang lebih sama dengan jumlah lapisan tanah yang mengisi lapisan akuifer di bawahnya. Selisih ini kemudian dapat diobservasi dengan 2 (dua) cara, yaitu dengan melihat penurunan muka tanah dengan GPS atau mengobservasi penggunaan air tanah dari penurunan muka air tanah.



Gambar 3. Tren Subsiden di Asian Megacities [9]

Proyeksi *land subsidence* dilakukan dalam berbagai penelitian dengan metode yang berbeda-beda, seperti metode regresi [19], gravitasi [20], transien [21], atau dengan metode yang lebih rumit seperti penggunaan satelit multi sensor [14]. Namun, proyeksi subsiden pada umumnya disesuaikan dengan laju penurunan dan penyebab utama penurunan tersebut

dengan karakteristik kawasan. Penelitian proyeksi subsiden hingga 2050 menyebutkan bahwa karakteristik penurunan muka tanah di Kota Jakarta cenderung linear (Gambar 3), dan hal ini kemungkinan belum akan berubah dalam waktu lama [9]. Dengan mempertimbangkan penyebab utama penurunan muka tanah adalah penggunaan air tanah berlebih [7], dan mengacu pada beberapa penelitian yang menggunakan metode ekstrapolasi linear untuk mengetahui penurunan muka tanah serta laju penurunannya di masa depan [2] [5] [7] [20], maka metode peramalan *time series* yang bersifat linear kemungkinan besar akan dapat menggambarkan kondisi elevasi Kota Jakarta di masa yang akan datang. Tujuan utama melakukan proyeksi penurunan muka tanah pada penelitian ini adalah untuk mengetahui kecenderungan terjadinya banjir pesisir, dan hal ini dapat dicapai dengan mencari selisih kedua variabel [23].

**C. Teknik Analisis**

Analisis yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis *time series* yang meliputi *single exponential smoothing*, *Holt's Linear forecasting*, dan *Holt-Winter forecasting*, dengan tambahan analisis pemetaan. Metode SES merupakan cara untuk menghaluskan suatu set data *time series* untuk memperbaiki peramalan atau melihat *underlying trends* dari kumpulan data tersebut [24].

Tabel 1. Tabel Data

Data	Sumber Data	Kebutuhan Analisis	Teknik Analisis
<b>Kenaikan Permukaan Air Laut (Sea Level Rise)</b>			
Oceanic Nino Index (ONI)	NOAA	Analisis Time Series: Smoothing tren di masa lalu	SES
El Nino-Southern Oscillation	NOAA	Analisis Time Series: Smoothing tren di masa yang akan datang	SES
Elevasi Pesisir Kota Jakarta dari Digital Elevation Model (DEM)	SRTM - USGS	Analisis Time Series dan Pemetaan: Penentuan fase kritis kenaikan air laut dan persebarannya	Holt's Linear dan Pemetaan
<b>Penurunan Permukaan Tanah (Land Subsidence)</b>			
Jumlah Penggunaan Air Tanah per Kecamatan	Dinas SDA DKI Jakarta melalui Jakarta Open Data (Data.Jakarta.go.id)	Analisis Time Series: Prediksi penggunaan air tanah	Holt-Winter
Kedalaman Air Tanah di Akuifer Jakarta	Dinas SDA DKI Jakarta melalui Jakarta Open Data (Data.Jakarta.go.id)	Analisis Time Series: Prediksipenurunan permukaan air tanah di akuifer	Holt-Winter
Laju Penurunan Ellipsoid	Pemantauan Penurunan Ellipsoid di Pos Pantau Jakarta Utara dan Jakarta Barat melalui portal MONAS BKAT ESDM	Analisis Time Series: Penentuan rata-rata penurunan muka tanah	Holt's Linear
Jumlah Sumur di Jakarta	BKAT ESDM	Analisis Time Series: Penentuan ambang	Threshold

Utara dan Jakarta Barat	penggunaan air tanah per hari
-------------------------------	----------------------------------

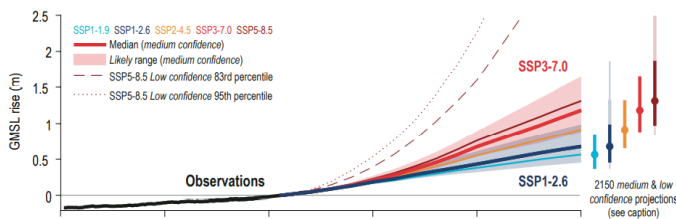
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Gambaran Umum

Nilai *Oceanic Nino Index* (ONI) menunjukkan kenaikan dan penurunan permukaan air laut dari tahun dasar, dan pada kasus ini tahun dasar yang digunakan adalah tahun 1990. Ketinggian gelombang bervariasi, dengan titik tertinggi adalah pada Januari 2000 (0,16 meter) dan titik terendah pada Januari 1998 (-0,23 meter). Pada periode tahun 1990 hingga tahun 2012, perubahan ketinggian air laut di Teluk Jakarta tidak mengalami perubahan yang signifikan, kecuali pada penurunan di tahun 1998. Kenaikan air laut yang dihitung dari anomali La-Nina dan El-Nino tidak menyebabkan adanya gelombang tinggi yang signifikan, seperti yang ditunjukkan hasil *smoothing* pada gambar 4.

Nilai *smoothing* menggunakan metode SES menunjukkan bahwa fase kenaikan air laut paling signifikan adalah pada periode 118 hingga 150, yaitu pada Juli 1998 hingga Maret 2002. Pada periode ini, air laut naik ke daratan dan merendam permukiman warga di Kecamatan Penjaringan, khususnya kawasan Muara Angke yang masih merupakan perkampungan nelayan [20]. Tren kemudian kembali bergerak naik, terutama menjelang tahun 2012 dengan nilai yang hampir selalu di atas 0. Meskipun perubahan ketinggian air laut memiliki fluktuasi, nilai ONI di akhir tahun pengamatan menunjukkan periode air laut di atas 0 yang cukup lama. Hal ini mengindikasikan adanya perubahan karakteristik air laut, yang dipengaruhi oleh meningkatnya volume air laut di dunia dan anomali siklus angin El-Nino dan La-Nina.

Berdasarkan *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) permukaan laut rata-rata global meningkat sebesar ±0,20 m per tahun selama periode 1901 hingga 2018, dengan laju kenaikan ± 3,7 mm per tahun. Saat ini kenaikan muka air laut telah mencapai 0,2 m dan kemungkinan akan meningkat 0,3 – 1 meter per tahun atau lebih pada tahun 2011[27].



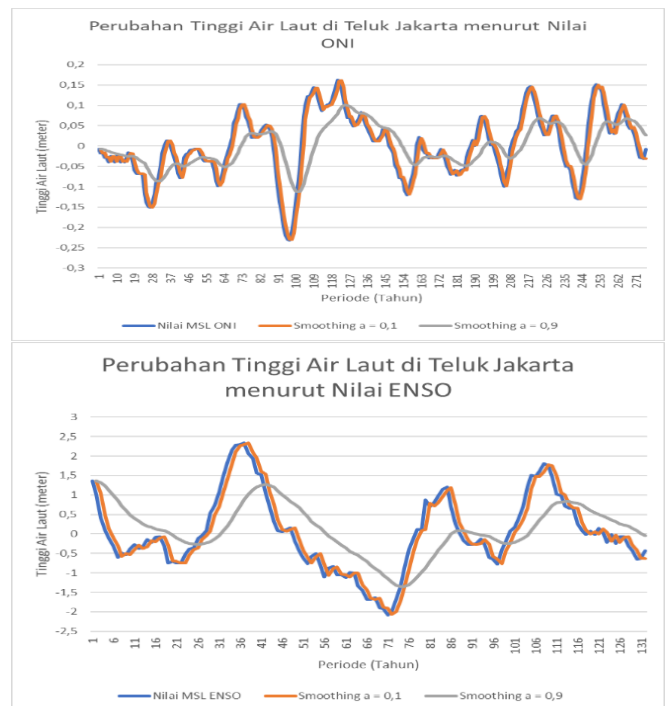
Gambar 4. Rata-rata Kenaikan Air Laut Global [27]

Melalui indikasi tren yang semakin meningkat, data ONI dapat diproyeksikan sehingga menghasilkan proyeksi perubahan ketinggian air laut untuk periode tahun 2020 – 2030 (dengan mempertimbangkan data lainnya seperti arah angin, perubahan struktur geologi bawah laut, perubahan volume air karena suhu udara, dan sebagainya). Data yang disebut *El-Nino Southern Oscillation* (ENSO) ini umum digunakan oleh nelayan untuk memprediksi pasang-surut air laut. Adapun tren

fluktuasi tingkat air laut dapat dilihat melalui hasil *smoothing* pada gambar 5.

Prediksi NOAA untuk kenaikan air laut di Teluk Jakarta terbilang sangat ekstrim, karena kenaikannya mencapai hingga 2,5 meter, dibandingkan dengan data sebelumnya yang hanya mencapai 20 cm. Peramalan ini tidak lepas dari semakin meningkatnya anomali angin dan peningkatan volume air laut dalam jumlah besar, yang diperkirakan tidak akan berkurang hingga 10 tahun mendatang.

*Smoothing* untuk nilai ENSO dilakukan dengan metode SES menggunakan  $\alpha = 0,9$  untuk melihat gambaran besar dari fluktuasi air laut selama 10 tahun. Nilai  $\alpha$  yang besar membantu mengeluarkan nilai random dan musiman, karena dibutuhkan data perubahan air laut yang horizontal, yaitu berada di sekitar titik 0 dari tahun dasar 1990. Berbeda dengan kegunaan *smoothing* pada nilai ONI, *smoothing* pada nilai ENSO menjadi dasar penentuan jendela kritis yang dapat dimanfaatkan oleh Pemerintah Daerah Provinsi DKI Jakarta untuk mempersiapkan infrastruktur mitigasi banjir. Sesuai *underlying trends* yang didapat dari hasil *smoothing*, terdapat kecenderungan air laut untuk surut pada periode 16 hingga 26 (pada Juli 2021 hingga Maret 2022), dan jendela panjang pada periode 56 hingga 101 (pada tahun 2025 hingga 2027). Adapun puncak kenaikan air laut adalah pada tahun 2023 dengan tinggi mencapai 2,34 meter. Periode ini akan dibandingkan dengan kecenderungan penurunan muka tanah pada analisis selanjutnya untuk melihat kesiapan Kota Jakarta dalam menghadapi kenaikan air laut rata-rata ini.



Gambar 5. Perubahan Tinggi Air Laut menurut Nilai ONI dan ENSO

#### B. Penurunan Muka Tanah di Pesisir Kota Jakarta

Analisis untuk melihat kecenderungan penurunan muka tanah dilakukan dalam 3 (tiga) set data, yaitu analisis kecenderungan penggunaan air tanah, analisis kecenderungan

penurunan muka air tanah di akuifer, analisis penurunan ellipsoid di Pos Pantau Kota Jakarta Utara dan Kota Jakarta Barat, dan analisis pembobotan untuk melihat laju penurunan permukaan tanah keseluruhan. Data yang digunakan dalam proyeksi penggunaan air tanah adalah untuk tahun 2018-2019, dengan proyeksi hingga tahun 2026. Data sebanyak 24 periode ini dianggap cukup menggambarkan kecenderungan penggunaan air di Kota Jakarta, melihat belum adanya respon cepat pemerintah terhadap penyediaan air bersih selama 5 tahun terakhir. Analisis yang dilakukan akan menggambarkan bagaimana kondisi saat ini akan mencapai masa kritis di masa yang akan datang, bila kebijakan pemerintah masih sama seperti saat ini.

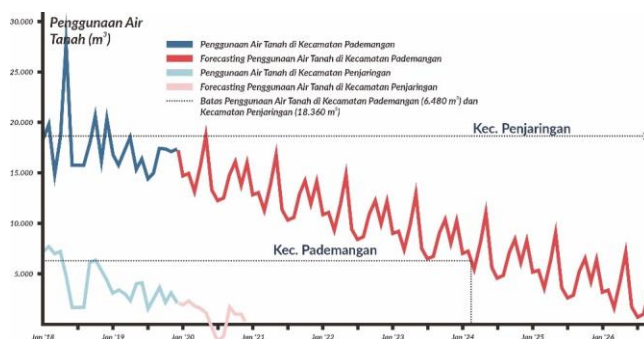
Proyeksi penggunaan air tanah dilakukan untuk melihat kecenderungannya di masa yang akan datang, untuk kemudian dibandingkan dengan batas penggunaan air tanah yang ditetapkan oleh Pemerintah Daerah Provinsi DKI Jakarta melalui Peraturan Gubernur DKI Jakarta Nomor 21 Tahun 2006 tentang Pedoman Pemberian Saran Teknis Izin Pemboran dan/atau Pengambilan Pemanfaatan Air Bawah Tanah. Untuk mengetahui batas penggunaan air tanah per kecamatan, maka digunakan data jumlah sumur yang teridentifikasi dari BKAT ESDM dengan ambang batas penggunaan air tanah, yaitu 18 m<sup>3</sup>/sumur/hari untuk Kota Administrasi Jakarta Utara dan 28 m<sup>3</sup>/sumur/hari untuk Kota Administrasi Jakarta Barat. Perhitungan untuk menentukan penggunaan air maksimum dapat dilakukan seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan Penggunaan Air Maksimum di Kota Administrasi Jakarta Utara dan Kota Administrasi Jakarta Barat Sesuai Jumlah Sumur Produksi

Kecamatan	Jumlah Sumur Produksi	Penggunaan Air Maksimum (m <sup>3</sup> )
<b>Kota Jakarta Utara</b>		
Kelapa Gading	29	15.660
Pademangan	12	6.480
Penjaringan	34	18.360
<b>Kota Jakarta Barat</b>		
Kalideres	22	18.480
Cengkareng	47	39.480
Grogol Petamburan	24	20.160
Kebon Jeruk	43	36.120
Kembangan	39	32.760

Jumlah penggunaan air maksimum didapat dengan mengalikan jumlah sumur produksi yang terdaftar di BKAT ESDM dengan ambang batas penggunaan air maksimum dalam Peraturan Gubernur DKI Jakarta Nomor 21 Tahun 2006 tentang Pedoman Pemberian Saran Teknis Izin Pemboran dan/atau Pengambilan Pemanfaatan Air Bawah Tanah. Jumlah penggunaan air tersebut kemudian akan dibandingkan dengan proyeksi penggunaan air tanah tiap kecamatan di wilayah studi untuk mengidentifikasi perbandingannya. Peramalan dapat dilakukan untuk Kecamatan Penjaringan, Kecamatan Pademangan, dan Kecamatan Kelapa Gading di Kota Administrasi Jakarta Utara dengan menggunakan metode *Holt-Winter's Exponential Smoothing*. Nilai prediksi untuk Kecamatan Penjaringan dapat diproyeksikan dalam bentuk grafik seperti pada gambar 5.

Tren penggunaan air tanah di Kecamatan Penjaringan dan Kecamatan Pademangan teridentifikasi menurun setiap tahunnya. Pada Kecamatan Pademangan, telah dilakukan penyambungan pipa air bersih di beberapa bagian kecamatan, sehingga penggunaannya lebih kecil dibandingkan Kecamatan Penjaringan dan Kecamatan Kelapa Gading, yaitu di bawah 10.000 m<sup>3</sup> per bulan. Ambang penggunaan dari Kecamatan Penjaringan sesuai dengan jumlah sumur produksi yang diizinkan oleh pemerintah adalah sebanyak 18.360 m<sup>3</sup> per bulan, dan ambang ini berada jauh di atas penggunaan air tanah eksisting di Kecamatan Penjaringan.



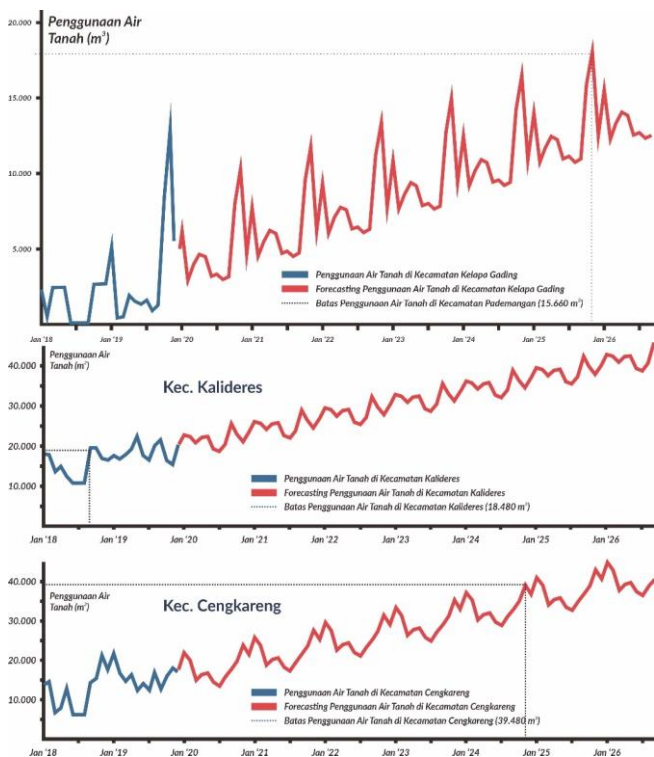
Gambar 7. Prediksi Penggunaan Air Tanah di Kecamatan Penjaringan dan Pademangan

Dengan tren yang terus menurun hingga bila peralihan penggunaan air tanah menjadi air PAM oleh masyarakat terus dilakukan, maka penggunaan air di Kecamatan Penjaringan akan mencapai 0 m<sup>3</sup> pada tahun 2021. Sementara itu, penggunaan air tanah di Kecamatan Pademangan sudah melewati jauh dari yang diizinkan oleh Pemerintah Daerah Provinsi DKI Jakarta, yaitu 6.480 m<sup>3</sup> per bulan. Hal ini berkaitan dengan minimnya guna lahan permukiman di kecamatan tersebut. Penggunaan air tanah ini turut dipengaruhi oleh keberadaan wisata Dunia Fantasi dan kawasan Ancol, meskipun sebagian dari kebutuhan airnya sudah dipenuhi oleh PAM. Adapun penggunaan air tanah di Kecamatan Pademangan memiliki tren yang terus menurun, sehingga bila tren tersebut berlanjut dan bila pemerintah terus melakukan intensifikasi program penyambungan air bersih di kecamatan ini, maka penggunaan air tanah akan berada di bawah batas ambang pada tahun 2024. Sementara itu, terdapat tren yang berbeda untuk Kecamatan Kelapa Gading, seperti yang dapat diproyeksikan pada gambar 7.

Tren penggunaan air tanah di Kecamatan Kelapa Gading memiliki tren meningkat setiap tahunnya. Hal ini sangat berkaitan dengan pengembangan kawasan yang sangat pesat menjadi pusat perbelanjaan dan kawasan permukiman, tanpa didukung oleh pengembangan pipa air bersih. Adapun batas 15.660 m<sup>3</sup> untuk kecamatan ini masih belum tercapai pada saat ini, namun bila tidak ada intervensi dari program intensifikasi air bersih, maka ambang tersebut akan dicapai pada akhir tahun 2025. Kecamatan di kawasan studi yang berada di Kota Administrasi Jakarta Barat mayoritas belum tersambung dengan pipa air bersih sepenuhnya. Oleh karena itu, penggunaan air di Kota Administrasi Jakarta Barat terhitung lebih tinggi dibanding penggunaan air di Kota

Administrasi Jakarta Utara. Adapun proyeksi untuk penggunaan air bersih di Kecamatan Cengkareng dan Kecamatan Kalideres dapat dilihat pada gambar 7.

Kecamatan Kalideres dan Kecamatan Cengkareng memiliki level penggunaan air tanah yang hampir sama, yaitu kurang lebih 20.000 m<sup>3</sup> per bulan dengan tren yang meningkat. Kecamatan Kalideres sudah melewati ambang penggunaan air maksimum pada akhir tahun 2018, dan tetap memiliki tren meningkat hingga data diobservasi pada tahun 2021. Hal ini mengindikasikan belum adanya intervensi Pemerintah Daerah DKI Jakarta terhadap penggunaan air berlebih ini, dan jika pengambilan air terus dilakukan dengan tren yang sama, maka kemungkinan Kecamatan Kalideres akan mencapai penggunaan 40.000 m<sup>3</sup>/bulan pada tahun 2025.

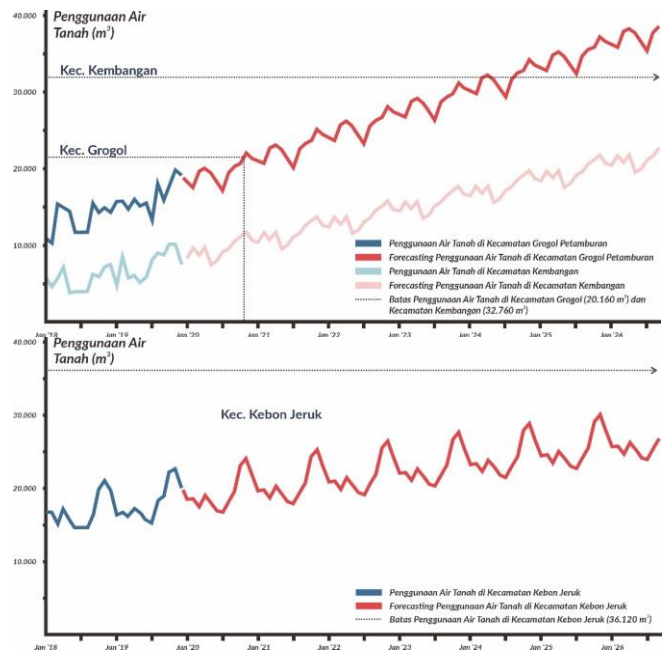


Gambar 7. Prediksi Penggunaan Air Tanah di Kecamatan Kelapa Gading, Kecamatan Kalideres dan Kecamatan Cengkareng

Kondisi ini akan sangat berdampak buruk bagi penurunan lahan di Kota Administrasi Jakarta Barat. Sementara itu, Kecamatan Cengkareng memiliki ambang penggunaan air tanah sebesar 39.480 m<sup>3</sup>/bulan, dikarenakan peruntukannya sebagai kawasan permukiman. Meskipun demikian, Kecamatan Cengkareng memiliki tren penggunaan air tanah yang terus meningkat, sehingga dengan tren yang sama, diperkirakan akan mencapai batas ambangnya pada awal tahun 2025.

Penggunaan air tanah di Kecamatan Kembangan dan Kecamatan Grogol Petamburan dihitung lebih rendah dari penggunaan air di Kecamatan Kalideres dan Kecamatan Cengkareng, yaitu berada di bawah 20.000 m<sup>3</sup>/bulan, seperti pada gambar 8. Kecamatan Grogol memiliki laju peningkatan penggunaan air tanah yang lebih tinggi dibanding Kecamatan Kembangan, namun dengan batas ambang yang lebih rendah.

Melalui perhitungan, diketahui bahwa ambang penggunaan air tanah di Kecamatan Grogol adalah 20.160 m<sup>3</sup>/bulan, dan jumlah ini diperkirakan akan dicapai pada akhir tahun 2020.



Gambar 8. Prediksi Penggunaan Air Tanah di Kecamatan Kembangan, Kecamatan Grogol Petamburan, dan Kecamatan Kebon Jeruk

Sementara itu, ambang penggunaan air tanah di Kecamatan Kembangan sebesar 32.760 m<sup>3</sup>/bulan diperkirakan belum akan tercapai dalam waktu dekat. Sama seperti kondisi di Kecamatan Kembangan, penggunaan air tanah di Kecamatan Kebon Jeruk diperkirakan belum akan mencapai batas maksimum yaitu sebesar 36.120 m<sup>3</sup>/bulan. Peningkatan penggunaan air tanah di Kecamatan Kebon Jeruk memiliki tren yang tidak terlalu tajam, namun dengan penggunaan air yang cukup tinggi yaitu kurang lebih 16.000 m<sup>3</sup>/bulan.

### C. Prediksi Penurunan Muka Tanah

Data laju penurunan muka air tanah di akuifer dibandingkan dengan data penurunan ellipsoid di Kota Administrasi Jakarta Utara dan Kota Administrasi Jakarta Barat, untuk mengetahui penurunan muka tanah akibat ekstraksi air tanah. Sesuai dengan dokumen BKAT ESDM untuk konservasi Cekungan Air Tanah (CAT) Jakarta, ekstraksi air tanah yang ditunjukkan oleh penurunan akuifer berdampak hingga 30% dari subsiden di Kota Jakarta. Faktor lainnya adalah penurunan akibat konsolidasi tanah alluvium akibat kejadian alam dan kepadatan pembangunan di wilayah ibukota, yang digambarkan dengan tinggi ellipsoid di Kota Administrasi Jakarta Utara dan Kota Administrasi Jakarta Barat. Perhitungan subsiden menurut ekstraksi air tanah dan penurunan ellipsoid per bulan dapat dilihat pada Lampiran 3, dengan perhitungan per 6 (enam) bulan untuk Kota Administrasi Jakarta Barat dan Kota Administrasi Jakarta Utara dapat dilihat pada tabel 3 dan tabel 4.

Tabel 3.

Periode	Rata-rata Penurunan Air Tanah Akuifer (cm)	Penurunan Ellipsoid (cm)	Subsiden (cm)
Jan 2017	-1.795	-0,00083	-0.53908
Jul 2017	-1.685	-0,00083	-0.50608
Jan 2018	-1.682	-0,00083	-0.50518
Jul 2018	-1.714	-0,00083	-0.51478
Jan 2019	-1.6945	-0,00083	-0.50893
Jul 2019	-1.75	-0,00083	-0.51178

Penurunan muka tanah (subsiden) di Kota Administrasi Jakarta Utara terhitung lebih linear, karena penurunan air tanah di akuifer terus berada di kisaran -1,6 hingga -1,7 cm, sedangkan penurunan ellipsoid adalah -0,00083 cm. Pembobotan menunjukkan subsiden tertinggi adalah -0,539 cm dan subsiden terendah adalah -0,48 cm. Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada intervensi pemerintah yang berarti pada 3 (tiga) tahun pengamatan, sehingga penurunan muka tanah tetap berlangsung dengan tren linear

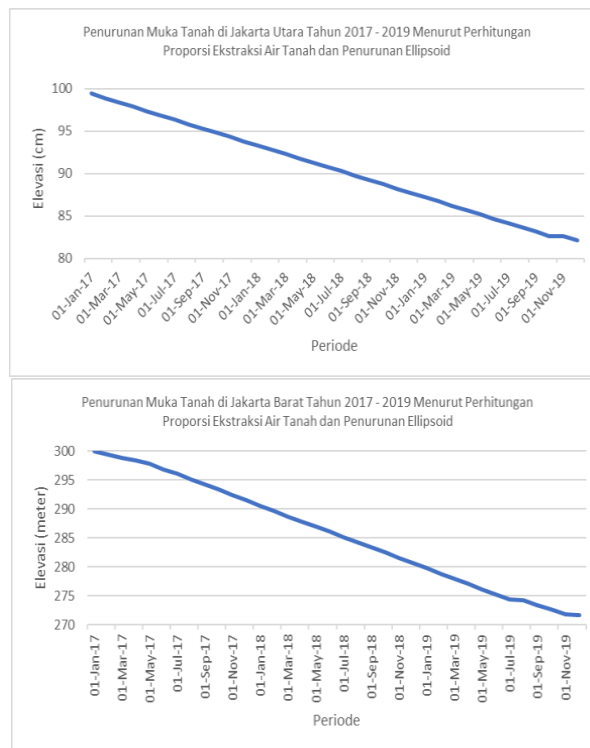
Tabel 4.

Periode	Rata-rata Penurunan Air Tanah Akuifer (cm)	Penurunan Ellipsoid (cm)	Subsiden (cm)
Jan 2017	-0,16067	-0,0025	-0,04995
Jul 2017	-2,7687	-0,0025	-0,83235
Jan 2018	-3,05767	-0,00833	-0,92313
Jul 2018	-3,051	-0,00833	-0,92113
Jan 2019	-3,072	-0,00167	-0,92277
Jul 2019	-2,86667	-0,00167	-0,86116

Penurunan muka tanah (subsiden) berlangsung cukup cepat pada tahun 2017 hingga 2018, dengan kecenderungan perlambatan pada akhir tahun 2019. Hal ini lebih banyak disebabkan oleh penurunan permukaan air tanah di akuifer yang mengalami perlambatan, begitu juga dengan elevasi ellipsoid. Meskipun demikian, subsiden yang terjadi di Kota Administrasi Jakarta Barat terhitung lebih besar dibanding subsiden di Kota Administrasi Jakarta Utara, karena mencapai 0,92 cm/bulan. Melalui perhitungan pembobotan penurunan muka tanah di akuifer dan penurunan tinggi ellipsoid, dapat digambarkan penurunan muka tanah yang sudah terjadi, yaitu pada tahun 2017 hingga 2019 seperti pada gambar 9.

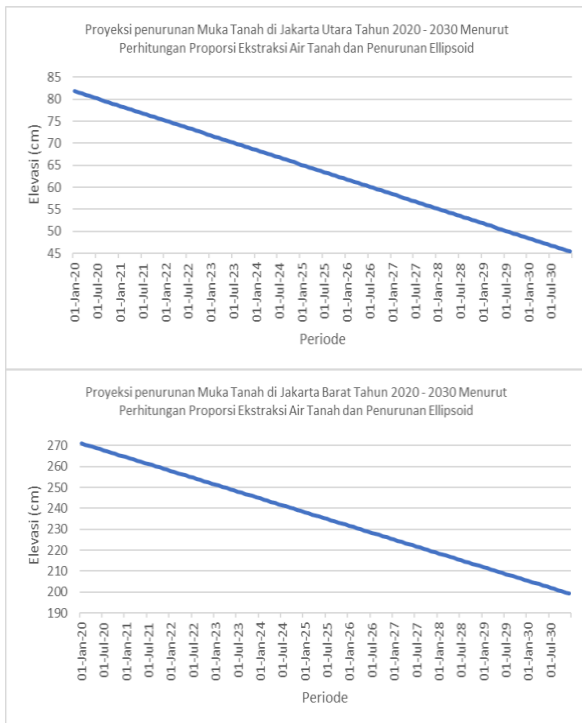
Sesuai dengan data pada Peta *Digital Elevation Model* yang didapat dari situs penyedia data satelit USGS, ketinggian terendah di kawasan studi yang termasuk dalam batas administrasi Kota Administrasi Jakarta Barat adalah 3 (tiga) meter. Karena data tersebut diperoleh pada tahun 2017, maka perhitungan dilakukan dengan menggunakan data elevasi 300 meter dan periode Januari 2017 sebagai titik awal. Sesuai dengan hasil pembobotan yang dikurangi dengan periode dasar tahun 2017, penurunan lahan pada Kota Administrasi Jakarta Utara cenderung linear, dengan kisaran penurunan sebesar 0,5 cm setiap bulannya. Akumulasi penurunan ini menyebabkan tanah turun 6 cm setiap tahun, sehingga terhitung pada akhir 2019 tanah sudah turun 18 cm. Nilai ini kemudian dibandingkan dengan penelitian lain di Kota

Administrasi Jakarta Utara, dengan rata-rata penelitian tersebut menyebutkan bahwa penurunan berkisar antara 5 – 8,5 cm per tahun [12] [14] [16].



Gambar 9. Grafik Penurunan Muka Tanah di Kota Administrasi Jakarta Utara dan Kota Administrasi Jakarta Barat sesuai Hasil Pembobotan

Kota Administrasi Jakarta Barat memiliki laju penggunaan air tanah yang lebih tinggi dibanding Kota Administrasi Jakarta Utara, dilihat dari penurunan permukaan tanah di akuifernya. Hasil pembobotan menunjukkan bahwa penurunan di kawasan ini dapat mencapai 0,8 cm di pertengahan tahun, yaitu periode di luar musim penghujan. Menggunakan tahun dasar yang sama dengan analisis di Kota Administrasi Jakarta Utara, elevasi kawasan sudah turun hingga 26 cm dalam 3 tahun. Hasil pembobotan kemudian diproyeksikan dengan metode *Holt Linear* untuk mengetahui kecenderungannya di masa yang akan datang, melihat trennya yang semakin menurun. Pemodelan peramalan dilakukan dengan menggunakan alat bantu SPSS, dengan hasil *Root-Mean-Square Error* (RMSE) sebesar 0,074 untuk dataset Kota Administrasi Jakarta Utara dan RMSE sebesar 0,184 untuk dataset Kota Administrasi Jakarta Barat. Indikator ini menunjukkan adanya model yang cukup baik untuk menggambarkan kondisi di masa yang akan datang, berdasarkan kecocokannya dengan tren di masa lalu. Nilai yang mendekati 0 menunjukkan bahwa model terhitung cukup akurat, dengan kesalahan prediksi yang tidak terlalu besar.



Gambar 10. Grafik Proyeksi penurunan Muka Tanah di Kota Administrasi Jakarta Utara dan Kota Administrasi Jakarta Barat Tahun 2020 – 2030

Sesuai data proyeksi dengan metode *Holt Linear*, kawasan terendah di Kota Administrasi Jakarta Utara yang memiliki aktivitas di dalamnya akan mengalami penurunan hingga mencapai elevasi 45,4 cm pada tahun 2030, seperti pada Gambar 19. Kawasan ini adalah kawasan yang berbatasan langsung dengan Teluk Jakarta, sehingga sangat sensitif terhadap perubahan tinggi air laut. Rata-rata penurunan yang diproyeksikan adalah 4 cm per tahun, dan jumlah ini lebih rendah dari penurunan yang sudah terjadi hingga saat ini 5 cm per tahun. Perbedaan jumlah ini terjadi karena model mempertimbangkan fluktuasi data, dengan tingkat penurunan yang lebih sering melambat dibanding meningkat. Data proyeksi untuk penurunan muka tanah di Kota Administrasi Jakarta Barat menunjukkan bahwa elevasi kawasan akan mencapai 2 meter di atas permukaan laut pada tahun 2030, seperti pada Gambar 20. Hasil analisis *Holt Linear* menunjukkan bahwa meskipun tingkat penurunannya cukup besar (7 – 8 cm per tahun, tren yang cepat ini hanya berlangsung di pertengahan tahun 2017, dan sudah menunjukkan tanda-tanda perlambatan pada tahun selanjutnya.

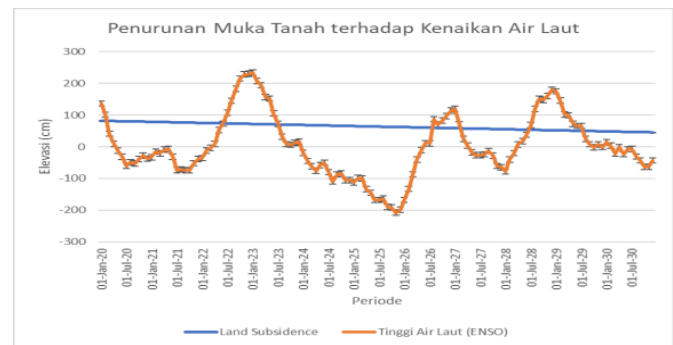
Meskipun penggunaan air tanah terus meningkat, namun penurunan permukaan air tanah di akuifer ternyata cenderung mengalami perlambatan. Hal ini kemungkinan besar berkaitan dengan kebijakan Pemerintah Daerah Provinsi DKI Jakarta yang menambah lahan terbuka hijau secara signifikan di Kota Administrasi Jakarta Barat, salah satunya adalah RPTRA Kalijodo yang berfungsi sebagai salah satu daerah resapan terbesar. Dengan mempertimbangkan perlambatan ini, maka model proyeksi menunjukkan penurunan rata-rata penurunan muka tanah 6 cm/tahun hingga hampir setengahnya, yaitu 3,5 cm/tahun.

**D. Indikasi Perencanaan untuk Mitigasi Banjir Pesisir**

Diketahui bahwa banjir pesisir terjadi akibat masuknya air laut ke daratan, dan dapat diidentifikasi melalui 2 (dua) variabel, yaitu kenaikan permukaan air laut dan penurunan muka tanah. Melalui gabungan kedua grafik, dapat disilangkan periode waktu rata-rata air laut naik akibat anomali *La-Nina* dan *El-Nino* dengan elevasi permukaan tanah. Pertimbangan untuk mengambil keputusan perencanaan dalam penelitian ini adalah dengan melihat faktor perubahan fisik kawasan (penurunan permukaan tanah karena ekstraksi air berlebih) dan persebarannya. Dengan demikian, dapat dilakukan analisis *threshold* untuk mengetahui periode banjir pesisir sesuai dengan proyeksi SLR dan subsiden, dan melalui proyeksi tersebut dapat dibandingkan dengan data spasial (melalui peta DEM) untuk melihat persebarannya melalui analisis pemetaan. Pada akhirnya, indikasi perencanaan dapat diambil dengan melakukan analisis gap, yaitu dengan melihat kebutuhan perencanaan untuk mencapai kondisi yang tidak diinginkan, dalam hal ini adalah agar banjir tidak terjadi atau setidaknya dampaknya dapat berkurang.

**a. Threshold Permukaan Tanah terhadap Kenaikan Air Laut**

Identifikasi *threshold* pada Kota Jakarta terhadap banjir dapat dilakukan dengan membandingkan penurunan di elevasi terendah terhadap proyeksi kenaikan air laut. Persilangan penurunan muka tanah yang berbatasan dengan pesisir dengan nilai peramalan tinggi air laut menggunakan nilai ENSO dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Penurunan Muka Air Tanah Terhadap Kenaikan Air Laut

Permukaan tanah di pesisir Kota Jakarta diproyeksikan untuk terus menurun hingga mencapai 45 cm di atas permukaan laut dari tinggi awal 1 meter di atas permukaan laut. Menurut proyeksi tinggi air laut di masa yang akan datang, terdapat 3 (tiga) kenaikan rata-rata air laut signifikan, dengan total kenaikan lebih tinggi dari elevasi pesisir Kota Jakarta pada periode tersebut. Kenaikan air laut yang akan menimbulkan genangan (melewati *threshold*) adalah pada periode Juli 2022 hingga Juli 2023, periode Juli 2026 hingga Januari 2027, dan periode Juli 2028 hingga Juli 2029. Untuk menghadapi hal tersebut, Pemerintah Daerah Provinsi DKI Jakarta dapat memanfaatkan jendela periode ketika air laut mengalami penurunan signifikan, yaitu hingga Januari 2022, kemudian Januari 2024 hingga Januari 2026. Kenaikan tinggi gelombang pada tahun 2028 seharusnya sudah dapat



dimitigasi seluruhnya, melihat jendela yang ada cukup besar untuk dilakukan pembangunan.

Selanjutnya, mempertimbangkan laju penggunaan air tanah yang semakin meningkat, dapat dilakukan upaya untuk mengurangi laju penurunan muka air tanah di akuifer sehingga laju subsiden dapat diperlambat. Rencana ini dapat diintensifikasi untuk kawasan-kawasan dengan kecenderungan penggunaan air tanah tinggi, terutama untuk kecamatan yang sudah dan akan melewati batas ambang penggunaan air tanah. Adapun hubungan antara penurunan permukaan tanah, penggunaan air tanah berlebih, dan gambaran lokasi kecamatan dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Urgensi Pengambilan Rencana untuk Tiap Kecamatan di Wilayah Studi

Kecamatan	Penggunaan Air Tanah Tertinggi 2019	Batas Ambang (m <sup>3</sup> /bulan)	Keterangan	Elevasi Terendah (mdpl)	Urgensi Intervensi Pemerintah
<b>Jakarta Utara</b>					
<i>Kelapa Gading</i>	13.050	15.660	Tercapai 2026	3	Sedang
<i>Penjaringan</i>	27.973	18.360	Tren Menurun	Pesisir	Tinggi
<i>Pademangan</i>	16.220	6.480	Tren Menurun	Pesisir	Tinggi
<i>Koja</i>	-	-	PAM	Pesisir	Tinggi
<i>Tanjung Priok</i>	-	-	PAM	Pesisir	Tinggi
<i>Cilincing</i>	-	-	PAM	Pesisir	Tinggi
<b>Jakarta Barat</b>					
<i>Kalideres</i>	22.478	18.480	Tercapai 2018	2	Tinggi
<i>Cengkang</i>	21.796	39.480	Tercapai 2024	3	Sedang
<i>Grogol Petamburan</i>	10.180	20.169	Tercapai 2020	3	Sedang
<i>Kembangan</i>	23.400	32.760	Tren Melambat	6	Rendah
<i>Kebon Jeruk</i>	19.820	36.120	Tren Melambat	7	Rendah

Seluruh kecamatan yang berbatasan langsung dengan Teluk Jakarta memiliki urgensi tinggi untuk dilakukan intervensi oleh pemerintah, karena dipastikan akan terdampak kenaikan muka air laut ekstrim dengan puncaknya pada tahun 2023. Bila tidak terdapat intervensi pemerintah, maka kecamatan pesisir ini akan tergenang. Meskipun demikian, seluruh kecamatan pesisir dapat dikatakan sudah tidak memiliki permasalahan terkait penggunaan air tanah kecuali untuk Kecamatan Penjaringan. Untuk mengikuti standar tetapan penggunaan air maksimum yang ditetapkan dalam Peraturan Gubernur DKI Jakarta Nomor 21 Tahun 2006 tentang Pedoman Pemberian Saran Teknis Izin Pemboran dan/atau Pengambilan Pemanfaatan Air Bawah Tanah, maka Kecamatan Penjaringan perlu mengurangi penggunaan air per bulannya sebesar 9.613 m<sup>3</sup>. Penurunan penggunaan air sebesar 34% ini tentu perlu diikuti dengan penyambungan infrastruktur air bersih, terutama pada jaringan yang sudah ada di Kota Administrasi Jakarta Barat.

Kecamatan di luar perbatasan Teluk Jakarta yang teridentifikasi memiliki urgensi tinggi adalah Kecamatan

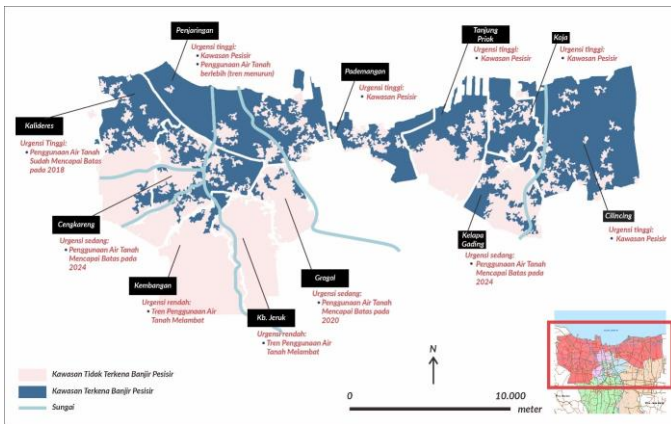
Kalideres di Kota Administrasi Jakarta Barat. Hal ini tidak lepas dari penggunaan air pada kedua kecamatan yang cukup tinggi, dengan Kecamatan Kalideres yang sudah mencapai ambang penggunaan air yang diperbolehkan pada tahun 2018. Bila tidak ada intervensi pemerintah, maka kemungkinan dampak banjir pesisir akan dirasakan paling besar oleh kecamatan ini. Dengan demikian prioritas penanganan terutama untuk tujuan pengurangan eksploitasi air tanah dapat dilakukan di Kecamatan Kelapa Gading dan Kecamatan Kalideres. Selain itu, pembangunan juga perlu diprioritaskan di Kecamatan Penjaringan dan Kecamatan Pademangan yang memiliki elevasi terendah 0 meter. Kondisi ini menyebabkan kedua kecamatan tersebut sangat sensitif terhadap kenaikan air laut, sehingga bila air laut mengalami tren meningkat, kedua kecamatan tersebut dipastikan akan terendam. Rencana kontingensi perlu disusun dengan melihat fluktuasi kenaikan air laut pada peramalan ENSO yang tidak menentu, sehingga kerugian yang diterima oleh Kecamatan Penjaringan dan Pademangan akan dapat diminimalisir. Kecamatan Grogol Petamburan dan Kecamatan Cengkareng akan mencapai batas ambang penggunaan air tanah yang diperbolehkan, sehingga Pemerintah Daerah Provinsi DKI Jakarta perlu mengambil langkah efisien untuk mengakomodir permintaan air bersih tersebut pada Kecamatan Kembangan dan Kecamatan Kebon Jeruk yang sudah memiliki tren yang menurun akibat intensifikasi program pemerintah dan konsistensinya dalam menyambung pipa air bersih, sehingga dapat dikatakan memiliki tingkat urgensi yang rendah.

#### E. Persebaran Kawasan Terdampak

Setelah mengetahui kondisinya di masa yang akan datang, kejadian banjir pesisir kemudian dapat dipetakan untuk melihat keterhubungan tiap wilayah studi secara spasial, terutama untuk mengidentifikasi kecamatan yang langsung berbatasan dengan Teluk Jakarta. Urgensi pemerintah untuk melakukan intervensi diberikan berdasarkan letaknya terhadap pesisir dan kecenderungan penggunaan airnya. Adapun hasil pemetaan dari reklasifikasi peta DEM dapat dilihat seperti pada Gambar 10.

Seperti yang diketahui melalui urgensi intervensi pemerintah pada Tabel 5, Kecamatan yang akan paling terdampak oleh banjir rob adalah Kecamatan Penjaringan, Kecamatan Pademangan, Kecamatan Tanjung Priok, Kecamatan Koja, dan Kecamatan Cilincing karena lokasinya yang langsung berbatasan dengan Teluk Jakarta. Oleh karena itu, pada kelima kecamatan tersebut perlu merespon ancaman banjir pesisir yang akan terjadi pada tahun 2023.

Urgensi tinggi juga perlu dipertimbangkan untuk diberikan pada Kecamatan Kalideres, melihat letaknya yang tidak terpaut jauh dari Teluk Jakarta yang berbatasan langsung dengan Kecamatan Penjaringan hanya terpaut 0,9 Km dari area tambak di Kecamatan Penjaringan.



Gambar 12. Persebaran Kawasan Terkena Banjir pada Skenario Tahun 2023

Selain itu, Kecamatan Kalideres sudah melewati ambang penggunaan air pada tahun 2018, sehingga diperlukan intensifikasi penyambungan jaringan air bersih untuk kecamatan ini. Kecamatan Cengkareng, Kecamatan Kembangan, Kecamatan Kebon Jeruk, Kecamatan Grogol, dan Kecamatan Kelapa Gading memang tidak berbatasan langsung dengan Teluk Jakarta, namun terdapat 2 (dua) sungai besar yang melewati kawasan tersebut. Seperti yang diketahui, ketinggian air pada sungai sangat dipengaruhi oleh kinerja pompa hisap yang dimiliki oleh Pemerintah Daerah Provinsi DKI Jakarta. Apabila pompa tersebut tidak berfungsi, maka ketinggian sungai tidak dapat dikontrol sehingga tingginya akan sama dengan air laut. Dengan demikian, luapan air sungai akan turut mengisi kawasan dengan elevasi terendah, terutama pada Kecamatan Cengkareng yang memiliki pertemuan 3 (tiga) ruas sungai. Oleh karena itu, diperlukan indikasi rencana untuk mempersiapkan lembaga pemerintah yang bertanggung jawab terhadap pengelolaan sungai, yaitu Balai Wilayah Sungai Jakarta Utara dan Dinas Sumber Daya Air Provinsi DKI Jakarta. Kedua instansi yang dikoordinasikan oleh Dinas Pekerjaan Umum Provinsi DKI Jakarta dapat menggunakan target kenaikan tinggi air laut ekstrim pada tahun 2023 untuk menjadi batas waktu pembangunan.

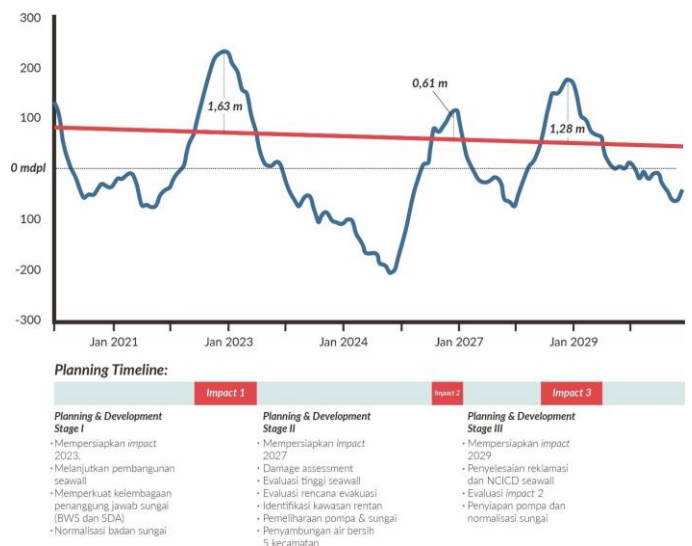
**F. Gap dan Skenario Perencanaan**

Sesuai dengan pembahasan dalam analisis sebelumnya, diperlukan intervensi pemerintah untuk mengurangi dampak banjir rob sesuai dengan penyebabnya, yaitu penurunan muka tanah dan kenaikan permukaan air laut. Indikasi perencanaan yang dapat dilakukan adalah dengan membangun tanggul laut dan meningkatkan penggunaan air PAM. Kedua indikasi rencana ini dapat menjadi rencana prioritas karena dapat menyelesaikan permasalahan penyebab banjir pesisir (subsiden dan SLR) secara strategis. Dengan demikian, menggunakan indikasi rencana pembangunan seawall dan penyambungan air PAM, dapat disusun skenario perencanaan dalam bentuk *timeline* seperti pada gambar 13.

Banjir pesisir tidak terjadi terus menerus di Utara Kota Jakarta karena masih terdapat selisih antara muka air laut 0 mdpl dengan elevasi terendah yaitu 1 mdpl. Dengan demikian, sesuai dengan hasil analisis *threshold* dan analisis pemetaan

yang sudah dilakukan sebelumnya, dapat diproyeksikan indikasi rencana serta waktu implementasinya. Teridentifikasi terdapat 3 (tiga) jendela besar saat air laut lebih rendah dari elevasi terendah, yang dituliskan sebagai *planning & development stage I – III*.

Dilansir oleh merdeka.com [25] Pada jendela ini, pemerintah dapat memanfaatkan surutnya air laut untuk mengimplementasikan rencana pembangunan, terutama tanggul laut NCICD yang saat ini sedang dihentikan sementara dengan tinggi  $\pm 4$  meter [26]. Selain itu, diketahui melalui analisis pemetaan bahwa keberadaan sungai sangat mempengaruhi kondisi banjir di kawasan yang tidak berbatasan langsung dengan Teluk Jakarta, sehingga pada periode ini perlu dilakukan penguatan kelembagaan untuk mempersiapkan pengelolaan pompa tersebut saat terjadi banjir.



Gambar 13. Timeline Perencanaan 2021 - 2030 untuk Kawasan Studi

Secara teknis, tinggi tanggul laut harus lebih tinggi dari tinggi air laut untuk mencegah masuknya air laut ke daratan. Tinggi air laut yang dipertimbangkan kemudian dapat merujuk pada proyeksi ketinggian air laut maksimum, yang menunjukkan gap sebesar 1,63 meter terhadap elevasi terendah di Kota Jakarta. Adapun tinggi NCICD seawall yang direncanakan untuk dibangun oleh Pemerintah Daerah Provinsi DKI Jakarta adalah setinggi  $\pm 4$  meter, sehingga sesuai perhitungan teknis sederhana, tinggi ini sudah melebihi gap kenaikan air laut maksimum yang akan terjadi. Hal yang dapat disesuaikan kemudian adalah *timeline* pembangunan yang ditargetkan selesai pada tahun 2027, karena target ini tentu tidak sesuai dengan *impact* tertinggi dalam proyeksi di atas. Oleh karena itu, setidaknya perlu dirumuskan capaian tertentu yang dapat mengurangi dampak banjir pesisir pada *impact* pertama, yaitu pada tahun 2023.

Setelah *impact* pertama, indikasi rencana adalah untuk mempersiapkan *impact* selanjutnya, terutama *impact* 3. Gap yang ada pada tahun 2029 dihitung lebih kecil dibanding tahun 2023, sehingga seharusnya dampak banjir pesisir tidak lebih besar dari sebelumnya. Meskipun demikian, hal ini tidak

mempertimbangkan adanya pertambahan pertumbuhan penduduk yang signifikan di kawasan pesisir, yang kemungkinan akan menambah kerentanan kawasan. Fokus pemerintah pada saat ini seharusnya mulai bergeser karena *seawall* seharusnya sudah selesai dibangun. Pemerintah dapat mulai mempertimbangkan untuk menargetkan 100% *coverage* pada penggunaan air PAM di Kota Jakarta, terutama di kecamatan yang termasuk dalam kawasan studi. Hal ini akan mengurangi dampak subsidi lebih jauh, sehingga setelah tahun 2030 Kota Jakarta tidak perlu lagi memproyeksikan penurunan permukaan tanah untuk menghadapi kenaikan permukaan air laut.

#### IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Penurunan permukaan tanah di pesisir Kota Jakarta terjadi dengan laju rata-rata 4 cm/tahun, sesuai dengan penurunan muka air tanah di akuifer dan penurunan ellipsoid di pos pemantauan. Penurunan ini terjadi karena pengambilan air tanah yang berlebihan, terutama pada Kecamatan Kalideres di Kota Administrasi Jakarta Barat, dan Kecamatan Pademangan di Kota Administrasi Jakarta Utara yang sudah melewati ambang penggunaan air tanah maksimum yang diperbolehkan pada tahun 2018. Di sisi lain, kenaikan air laut mencapai titik tertinggi, yaitu 2,44 mdpl pada tahun 2023. Fenomena ini terjadi ketika elevasi terendah di Kota Jakarta mencapai level 71,8 cm, sehingga terdapat selisih elevasi terendah dan tinggi air laut sebesar 1,63 meter.

Menghadapi hasil temuan ini, terdapat 2 (dua) indikasi rencana besar yang dapat membantu memitigasi banjir pesisir hingga tahun 2030, yaitu dengan melanjutkan pembangunan NCICD seawall dan mengintensifikan penyambungan pipa air bersih pada 5 (lima) kecamatan prioritas. Pembangunan NCICD seawall dianggap sebagai rencana yang paling memungkinkan untuk impact banjir pesisir pertama pada tahun 2023, sehingga diprioritaskan untuk dibangun selama tahun 2021-2022. Apabila pembangunan NCICD seawall sudah selesai sebelum tahun 2027, maka *impact 2* dan *impact 3* akan lebih mudah dikontrol oleh pemerintah. Setelah *impact* pertama, rencana difokuskan untuk menyelesaikan permasalahan subsidi, yaitu dengan menargetkan 100% penggunaan air PAM di kawasan studi penelitian.

Penyambungan pipa PAM diprioritaskan untuk Kecamatan Kalideres dan Kecamatan Pademangan agar tidak melewati ambang penggunaan air tanah maksimum, dilanjutkan pada Kecamatan Grogol Petamburan, Kecamatan Cengkareng, dan Kecamatan Kelapa Gading yang diproyeksikan akan melewati ambang batas penggunaan air tanah maksimum pada tahun 2021 dan 2024. Penyambungan pipa air bersih ini akan membantu menghambat laju subsidi karena penurunan muka air tanah di akuifer dapat dihentikan.

Untuk Pemerintah Daerah DKI Jakarta dan bagi perencana, direkomendasikan untuk mempertimbangkan skenario *impact* dan jendela perencanaan dalam mengambil kebijakan. Untuk memanfaatkan dana pembangunan sebaik-baiknya, mitigasi struktural dapat dilakukan pada 5 (lima) kecamatan pesisir sebagai kawasan prioritas, yaitu Kecamatan Penjarangan,

Kecamatan Pademangan, Kecamatan Tanjung Priok, Kecamatan Koja, dan Kecamatan Cilincing. Setelah menyelesaikan pembangunan mitigasi struktural, dapat dilakukan penyelesaian permasalahan terkait subsidi yang utamanya disebabkan oleh pengambilan air tanah berlebih. Direkomendasikan untuk menyelesaikan permasalahan di 2 (dua) kecamatan prioritas, yaitu Kecamatan Kalideres dan Kecamatan Kelapa Gading. Untuk penelitian lanjut, data penggunaan air tanah dan proyeksinya, serta data penurunan muka tanah dan proyeksinya dapat dimanfaatkan untuk mengetahui tingkat eksploitasi penduduk Kota Jakarta terhadap air tanah. Terdapat beberapa topik yang dapat dikembangkan, diantaranya dampak subsidi terhadap lingkungan, pembangunan kota tangguh bencana, kelayakan drainase kota dalam menghadapi banjir pesisir, dan lain lain.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin berterima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penyusunan materi dan penyempurnaan substansi dalam penelitian ini, semoga penelitian ini dapat bermanfaat dalam perencanaan pembangunan di pesisir Kota Jakarta, khususnya kawasan yang terkena dampak bencana banjir rob di pesisir Kota Jakarta.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chan, F. K. S., Chuah, C. J., Ziegler, A. D., Dąbrowski, M., Varis, O. Towards resilient flood risk management for Asian coastal cities: Lessons learned from Hong Kong and Singapore. *Journal of Cleaner Production*, 2018;87:576–  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.217>
- [2] Latief, H., Putri, M. R., Hanifah, F., Afifah, I. N., Fadli, M., Ismoyo, D. O. Coastal Hazard Assessment in Northern part of Jakarta. *Procedia Engineering*, 2018;212:1279–1286.  
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.165>
- [3] Wu, C. C., Jhan, H. T., Ting, K. H., Tsai, H. C., Lee, M. T., Hsu, T. W., & Liu, W. H. (2016). Application of social vulnerability indicators to climate change for the southwest coastal areas of Taiwan. *Sustainability* (Switzerland), 8(12).  
<https://doi.org/10.3390/su8121270>
- [4] Wu, C. C., Jhan, H. T., Ting, K. H., Tsai, H. C., Lee, M. T., Hsu, T. W., Liu, W. H. Application of social vulnerability indicators to climate change for the southwest coastal areas of Taiwan. *Sustainability* (Switzerland), 2016;8(12). <https://doi.org/10.3390/su8121270>
- [5] Takagi, H., Esteban, M., Mikami, T., Pratama, M. B., Valenzuela, V. P. B., & Avelino, J. E. (2021). People's perception of land subsidence, floods, and their connection: A note based on recent surveys in a sinking coastal community in Jakarta. *Ocean and Coastal Management*, 211(April 2020), 105753.  
<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105753>
- [6] Li, Y., Xiang, Z., Chen, K., & Wang, X. An improved spatial subsidy approach for ecological compensation in coastal seascapes for resilient land-sea management. *Journal of Environmental Management*, 2020;276(September):111305.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111305>
- [7] Abidin, H. Z., Djaja, R., Rais, J., Wedyanto, K. Land Subsidence of Jakarta Metropolitan Area. FIPG Regional Conference, 2004:III(December):1–14.  
[http://fig.net/pub/jakarta/papers/ts\\_06/ts\\_06\\_4\\_djaja\\_et.al.pdf](http://fig.net/pub/jakarta/papers/ts_06/ts_06_4_djaja_et.al.pdf)
- [8] Shaad, K., Burlando, P. Monitoring and modelling of shallow groundwater dynamics in urban context: The case study of Jakarta. *Journal of Hydrology*, 2019;573: 1046–1056.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.01.005>

- [9] Takagi, H., Esteban, M., Mikami, T., Fujii, D. Projection of coastal floods in 2050 Jakarta. *Urban Climate*, 2016;17(February 2021):135–145. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2016.05.003>
- [10] BBC News. Kerugian banjir di Jakarta dan sekitarnya diperkirakan melebihi Rp10 triliun, kata pengamat. BBC New Indonesia. 2020. (<https://www.bbc.com/indonesia/indonesia-50982184>). Diakses pada tanggal 2 Desember 2022
- [11] Jamali, B., Löwe, R., Bach, P. M., Urich, C., Arnbjerg-Nielsen, K., Deletic, A. A rapid urban flood inundation and damage assessment model. *Journal of Hydrology*, 2018;564.:1085–1098. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.07.064>
- [12] Buchori, I., Pramitasari, A., Sugiri, A., Maryono, M., Basuki, Y., Sejati, A. W. Adaptation to coastal flooding and inundation: Mitigations and migration pattern in Semarang City, Indonesia. *Ocean and Coastal Management*, 2018;63(July):445–455. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.07.017>
- [13] Wu, G., Shi, F., Kirby, J. T., Liang, B., Shi, J. Modeling wave effects on storm surge and coastal inundation. *Coastal Engineering*, 2018;140:371–382. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2018.08.011>
- [14] Husnayaen, Rimba, A. B., Osawa, T., Parwata, I. N. S., As-syakur, A. R., Kasim, F., Astarini, I. A. Physical assessment of coastal vulnerability under enhanced land subsidence in Semarang, Indonesia, using multi-sensor satellite data. *Advances in Space Research*, 2018;61(8):2159–2179. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2018.01.026>
- [15] Mukhtar, O., Pranantya, P. A., Hadian, S. D. Manajemen Air Tanah Di Cekungan Air Tanah Dki. *Seminar Nasional Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran*, 2012:3.
- [16] Khasanah, I. U. Kenaikan Muka Air Laut Perairan Sumatera Barat Berdasarkan Data Satelit Altimetri Jason-2. In *Jurnal Ilmiah Geomatika* 2017;23(1):1. <https://doi.org/10.24895/jig.2017.23-1.623>
- [17] Sarychikhina, O., Glowacka, E., Mellors, R., Vidal, F. S. Land subsidence in the Cerro Prieto Geothermal Field, Baja California, Mexico, from 1994 to 2005. An integrated analysis of DInSAR, leveling and geological data. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2011;204(1–4):76–90. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2011.03.004>
- [18] Kementerian PUPR. Upaya Penanganan Banjir. Pusat Komunikasi Publik. Kementerian Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang. 2012. (<https://pu.go.id/berita/upaya-penanganan-banjir>) Diakses pada tanggal 2 Desember 2022
- [19] Yu, H., Gong, H., Chen, B., Liu, K., Gao, M. Analysis of the influence of groundwater on land subsidence in Beijing based on the geographical weighted regression (GWR) model. *Science of the Total Environment*, 2020;738:139405. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139405>
- [20] Setyawan, A., Fukuda, Y., Nishijima, J., Kazama, T. Detecting Land Subsidence Using Gravity Method in Jakarta and Bandung Area, Indonesia. *Procedia Environmental Sciences*, 2015;23(Ictcred 2014):17–26. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.01.004>
- [21] Ramm, T. D., Watson, C. S., White, C. J. Strategic adaptation pathway planning to manage sea-level rise and changing coastal flood risk. *Environmental Science and Policy*, 87(June), 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.06.001>
- [23] Ramadhany, A. S., Ds, A. A., Subardjo, P. Daerah Rawan Genangan Rob di Wilayah Semarang. *Journal Of Marine Reserach*, 2012;1:174–180. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jmr>
- [24] Makridakis, S., Wheelwright, R., Hyndman, R., Chang, Y. *Forecasting Methods and Applications* (3rd ed.). John Wiley & Sons. 1998.
- [25] Merdeka.com. Kemen PUPR dan Pemprov DKI akan Garap Proyek Tanggul Raksasa NCICD di Utara Jakarta. *Merdeka.com*. 2021 <https://www.merdeka.com/jakarta/kemen-pupr-amp-pemprov-dki-akan-garap-proyek-tanggul-raksasa-ncicd-di-utara-jakarta.html> Diakses pada tanggal 2 Desember 2022
- [26] Darmawan, R., A. Menengok Tanggul NCICDD MUara Baru di tengah Proyek Jakarta Tenggelam. *Detiknews*. 2021. <https://news.detik.com/berita/d-5665051/menengok-tanggul-ncicd-muara-baru-di-tengah-proyeksi-jakarta-tenggelam> Diakses pada tanggal 2 Desember 2022
- [27] PCC. Foreword Technical and Preface. In *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. 2019.