

## STUDI KASUS PENURUNAN MUKA TANAH DAN MUKA AIR TANAH DI JAKARTA PUSAT TAHUN 2010-2022

Ali Iskandar<sup>1\*</sup>, Chaidir Anwar Makarim<sup>1</sup>, dan Tiara Kumala Chandra<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia  
\*aliiskandar@ft.untar.ac.id

Masuk: 19-01-2023, revisi: 09-04-2025, diterima untuk diterbitkan: 24-04-2025

### ABSTRACT

DKI Jakarta, as the center of Indonesia's economic and governmental activities, faces serious challenges related to significant land subsidence. High population density, rapid industrial growth, and increasing groundwater demand have triggered overexploitation of groundwater. This phenomenon, known as groundwater extraction, is a major factor causing alarming land subsidence in Central Jakarta. This study analyzes land subsidence and groundwater level data in Central Jakarta over the period 2010-2022, focusing on the impact of groundwater exploitation. The analysis methods include spatial analysis, statistical analysis, and literature review to identify the relationship between groundwater exploitation and land subsidence. The results show that land subsidence in Central Jakarta ranges from 2-15 cm per year, with an increasing trend. Areas with the highest groundwater exploitation showed the most significant subsidence rates. The study also identified other factors that contribute to land subsidence, such as natural consolidation of alluvium and construction loads. The implications of these findings highlight the need for sustainable groundwater management and strict groundwater exploitation control policies to prevent more severe impacts in the future.

Keywords: Land subsidence; groundwater extraction; spatial analysis; sustainable groundwater management

### ABSTRAK

DKI Jakarta, sebagai pusat kegiatan ekonomi dan pemerintahan Indonesia, menghadapi tantangan serius terkait penurunan muka tanah yang signifikan. Kepadatan penduduk yang tinggi, pertumbuhan industri yang pesat, dan kebutuhan air tanah yang meningkat telah memicu eksploitasi air tanah secara berlebihan. Fenomena ini, yang dikenal sebagai *groundwater extraction*, menjadi faktor utama penyebab penurunan muka tanah yang mengkhawatirkan di Jakarta Pusat. Studi ini menganalisis data penurunan muka tanah dan muka air tanah di Jakarta Pusat selama periode 2010-2022, dengan fokus pada dampak eksploitasi air tanah. Metode analisis meliputi analisis spasial, analisis statistik, dan tinjauan literatur untuk mengidentifikasi hubungan antara eksploitasi air tanah dan penurunan muka tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan muka tanah di Jakarta Pusat berkisar antara 2-15 cm per tahun, dengan tren yang terus meningkat. Wilayah dengan eksploitasi air tanah tertinggi menunjukkan tingkat penurunan muka tanah yang paling signifikan. Studi ini juga mengidentifikasi faktor-faktor lain yang berkontribusi terhadap penurunan muka tanah, seperti konsolidasi alami tanah aluvium dan beban konstruksi. Implikasi dari temuan ini menyoroti perlunya pengelolaan air tanah yang berkelanjutan dan kebijakan pengendalian eksploitasi air tanah yang ketat untuk mencegah dampak yang lebih parah di masa depan.

Kata kunci: Penurunan tanah; *groundwater extraction*; analisis spasial; pengelolaan air tanah

### 1. PENDAHULUAN

Jakarta Pusat, sebagai jantung ibu kota Indonesia, mengalami tekanan populasi dan perkembangan industri yang tinggi. Kondisi ini memicu peningkatan kebutuhan air tanah, yang dipenuhi melalui eksploitasi sumur bor secara masif (Hutabarat, 2017). Pengambilan air tanah yang berlebihan ini telah terbukti menjadi penyebab utama penurunan muka tanah di wilayah ini. Fenomena penurunan muka tanah (*land subsidence*) di Jakarta Pusat bukan hanya masalah teknis, tetapi juga ancaman nyata bagi infrastruktur dan keberlanjutan lingkungan. Studi ini bertujuan untuk mengkaji secara mendalam hubungan antara eksploitasi air tanah dan penurunan muka tanah di Jakarta Pusat selama periode 2010-2022. Dengan data yang komprehensif, diharapkan penelitian ini dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang dinamika penurunan muka tanah dan menjadi dasar bagi pengembangan kebijakan pengelolaan air tanah yang berkelanjutan.

## Kondisi geologi

Jakarta terletak di Cekungan Jawa Barat (Gambar 1) (Delinom et al., 2009), yang merupakan cekungan sedimentasi besar. Lapisan geologi di wilayah ini terdiri dari:

- Endapan Aluvial: Endapan ini mencakup sebagian besar wilayah Jakarta dan terdiri dari lumpur, pasir, dan kerikil yang dibawa oleh sungai-sungai besar seperti Ciliwung, Cisadane, dan Bekasi. Endapan aluvial ini berasal dari zaman Kuarter, sekitar 2,6 juta tahun yang lalu hingga sekarang.
- Formasi Sedimen Tua: Di bawah lapisan aluvial, terdapat formasi sedimen yang lebih tua, seperti Formasi Bojongmanik, Formasi Cibulakan, dan Formasi Jatiluhur, yang berasal dari zaman Tersier (sekitar 65 juta hingga 2,6 juta tahun yang lalu). Formasi ini sebagian besar terdiri dari batuan sedimen seperti batu pasir, lempung, dan batugamping.



Gambar 1. Peta geologi Jakarta (Pusat Data dan Informasi Sumber Daya Air Dinas Sumber Daya Air Provinsi DKI Jakarta, 2023)

Jakarta pusat didominasi oleh satuan batu pasir (Qav), endapan sungai muda/endapan aluvium (Qa) dan endapan pematang pantai (Qbr), dimana endapan aluvium (Qa) terdiri dari campuran material lempung, lanau, pasir, dan kerikil. Endapan ini terbentuk dari hasil sedimentasi oleh aktivitas aliran sungai, cekungan, dan dataran banjir. Di beberapa lokasi, material aluvial ini menunjukkan variasi berdasarkan lingkungan pengendapannya, seperti pasir kasar di sekitar sungai atau lempung halus di daerah dataran banjir. Dengan umur kuarter, tersebar di wilayah dataran rendah Jakarta, terutama di bagian selatan yang memiliki lapisan lempung dari abu vulkanik jenis tufa. Pada bagian utara, lapisan ini berupa lempung marina lunak yang membentang sekitar 5 km dari tepi pantai.

Endapan alluvial tua (Pleistosen) dan alluvial fan (Qav) terdiri dari material pasir, lanau, dan lempung yang tersementasi hingga memiliki konsistensi medium hingga stiff. Selain itu, terdapat komponen material vulkanik seperti tufa halus berlapis, tufa berpasir, dan konglomerat tufa yang menunjukkan pola sedimentasi kompleks akibat proses pengendapan fluvial dan vulkanik. Material ini mencerminkan hasil sedimentasi yang terjadi di lembah tua hingga daerah kaki gunung. Umur pleistosen (kuarter), endapan ini ditemukan di wilayah Jakarta Selatan hingga bagian yang lebih tinggi dari Jakarta. Pada beberapa lokasi, endapan ini berada pada kedalaman 20-30 meter di bawah permukaan tanah, mencerminkan endapan tua di Jakarta. Selain itu, di wilayah Bogor dan Jakarta Selatan, material ini lebih dangkal dengan pengaruh material vulkanik yang signifikan.

Endapan pematang pantai (Qbr) terdiri dari pasir halus hingga kasar dengan pemilahan yang baik. Terbentuk di daerah pantai dan berfungsi sebagai pengendapan di wilayah pesisir. Umur kuarter, endapan ini berada di wilayah pantai dan terbentuk dari sedimentasi laut.

## Penurunan muka air tanah

Air tanah merupakan sumber daya yang sangat penting bagi keberlanjutan kehidupan manusia, namun ketersediaannya semakin terbatas akibat pencemaran dan perubahan fungsi lahan (Susana, 2003). Penurunan muka air tanah merupakan fenomena penting yang erat kaitannya dengan tekanan ekstraktif terhadap akuifer, terutama di wilayah urban dengan tingkat eksploitasi tinggi. Di Jakarta, penurunan muka air tanah telah menjadi indikator

degradasi lingkungan akibat pengambilan air tanah yang tidak terkendali serta konversi lahan yang masif (Abidin et al., 2008). Data pemantauan kualitas air tanah menunjukkan bahwa pencemaran telah menyebar secara luas, memperburuk kemampuan tanah dalam menyimpan dan mengalirkan air secara alami (Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta, 2021). Sementara pada skala global perhatian terfokus pada kenaikan permukaan laut, di wilayah urban seperti Jakarta justru menghadapi masalah sebaliknya berupa penurunan muka air tanah. (Church et al., 2007) menekankan pentingnya pemahaman komprehensif terhadap dinamika perubahan permukaan air, baik di laut maupun di darat, untuk mengantisipasi dampak jangka panjang terhadap wilayah pesisir dan urban.

Seiring meningkatnya kebutuhan air bersih, masyarakat dan industri terus mengeksploitasi air tanah dalam jumlah besar, menyebabkan penurunan muka air tanah yang signifikan, sebagaimana juga diamati di wilayah pesisir Semarang dan Demak (Afif et al., 2018). Studi di Semarang menunjukkan bahwa wilayah dengan tingkat kerentanan tinggi terhadap pencemaran air tanah juga mengalami penurunan muka air tanah lebih cepat, terutama di area industri dan permukiman padat (Marjuanto et al., 2019). Faktor tata guna lahan dan pertumbuhan penduduk turut memperburuk kondisi infiltrasi dan kapasitas air tanah, sehingga mempercepat proses penurunan muka tanah (Putra et al., 2021).

Pada saat pembangunan gedung dengan basement yang dalam, diperlukan sistem dewatering untuk menghilangkan air di dalam galian. Namun, air hasil dewatering ini harus dikelola dengan baik melalui beberapa metode seperti sistem *recharging well*, kolam resapan, atau distribusi air bersih kepada penduduk sekitar. Hal ini penting karena air yang tidak terdistribusi atau dikembalikan ke dalam tanah akan mengakibatkan penurunan muka air tanah. Pengendalian dewatering dalam proyek konstruksi sangat bergantung pada pemahaman terhadap karakteristik hidrolik tanah, seperti nilai koefisien permeabilitas dan kapasitas simpan (Permatasari & Sentosa, 2019). Dalam praktik dewatering pada proyek-proyek besar, uji pemompaan air tanah digunakan untuk memastikan efisiensi pemompaan (Lorenza et al., 2019).

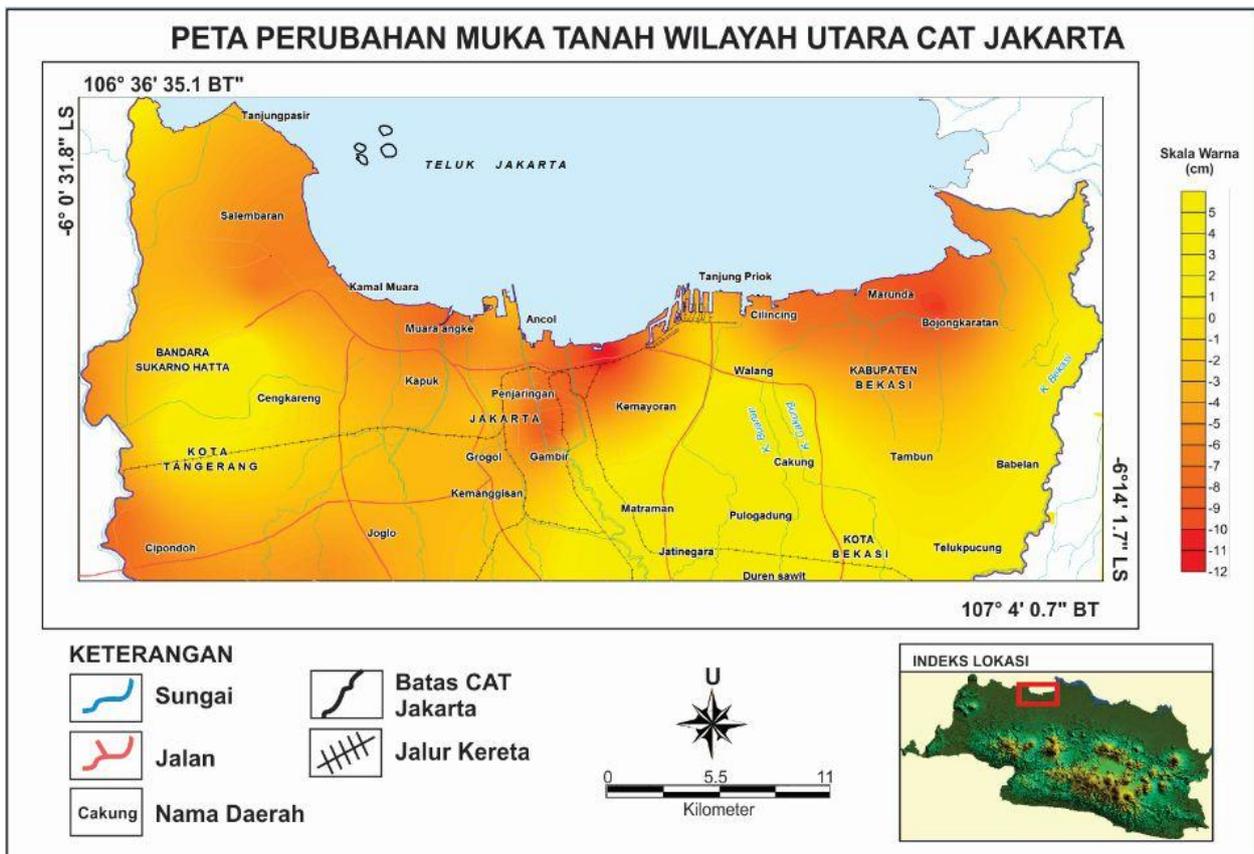
Fenomena ini diperparah oleh terbatasnya upaya konservasi dan pengendalian pemompaan air tanah, serta kurangnya infiltrasi air hujan akibat perubahan fungsi lahan. Dalam konteks pembangunan berkelanjutan, pemahaman mengenai dinamika muka air tanah sangat penting agar dapat merumuskan kebijakan konservasi yang adaptif terhadap tekanan pembangunan dan perubahan iklim.

### **Penurunan tanah**

Penurunan tanah atau biasanya dikenal dengan *Land Subsidence* merupakan fenomena alam yang dapat terjadi di kota besar dengan jumlah penduduk yang padat seperti di wilayah DKI Jakarta. Umumnya berdasarkan faktor penyebabnya, terdapat 3 jenis penurunan tanah/ *land subsidence* yang dapat terjadi (Abidin et al., 2008), diantaranya:

- a. Natural subsidence
- b. Groundwater extraction
- c. Masa bangunan

Penurunan muka tanah terus menjadi isu krusial di wilayah utara cekungan air tanah (CAT) Jakarta. Berdasarkan pemantauan yang dilakukan oleh Badan Konservasi Air Tanah (BKAT) Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral pada tahun 2016, dibandingkan dengan data tahun 2015, menunjukkan adanya penurunan muka tanah yang signifikan. Dari 26 titik pemantauan, 22 titik (85%) mengalami penurunan hingga 12 cm. Hal ini sejalan dengan temuan Abdullah (2016) yang menunjukkan bahwa daerah Jakarta Pusat mengalami penurunan muka tanah sekitar 6-12 cm dalam periode yang sama (Gambar 2). Meskipun demikian, terdapat 4 titik (15%) yang menunjukkan kenaikan hingga 5 cm, yang memerlukan penelitian lebih lanjut untuk memahami fenomena ini secara komprehensif (Agustan et al., 2021). Teknologi penginderaan jauh seperti InSAR telah digunakan secara efektif untuk memetakan dan menganalisis laju penurunan tanah, yang berperan penting dalam mitigasi risiko genangan dan kerusakan infrastruktur (Agustan et al., 2022).



Gambar 2. Peta penurunan muka tanah DKI Jakarta tahun 2016 (Balai Konservasi Air Tanah, 2023)

## 2. METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan pada penelitian sebagai berikut:

- Mengumpulkan teori yang digunakan untuk melakukan studi tentang penurunan muka tanah dan penurunan muka air tanah di Jakarta Pusat berupa buku-buku jurnal dan tutorial.
- Mengumpulkan data-data tanah dari hasil test sondir dan borlog di Jakarta Pusat yang didapatkan dari beberapa perusahaan geoteknik.
- Mengelompokkan data-data tanah yang telah didapat menjadi perkecamatan dan diurutkan pertahun.
- Menghitung penurunan muka air tanah.
- Membuat grafik dari hasil perhitungan penurunan muka air tanah.
- Menghitung kecepatan penurunan muka tanah.
- Membuat peta kontur Jakarta Pusat melalui aplikasi Google Earth Pro dan aplikasi pembuat peta kontur.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan penurunan muka air tanah:

- $\Delta$  maks adalah muka air maksimum pada tahun yang sama perkecamatan
- $\Delta$  min adalah muka air minimum pada tahun yang sama perkecamatan

Data hasil perhitungan kecepatan penurunan muka air tanah di daerah Jakarta Pusat dapat dilihat pada Tabel 1.

Contoh perhitungan data Kecamatan Gambir dengan durasi 6 tahun:

$$\text{Kecepatan Penurunan Muka Air Tanah} = \frac{\Delta_{\text{max}} - \Delta_{\text{min}}}{\text{Tahun}}$$

$$\text{Kecepatan Penurunan Muka Air Tanah} = \frac{4,5 - 1,3}{6} = 0,5333 \text{ m/tahun}$$

Tabel 1. Hasil perhitungan kecepatan penurunan muka air tanah di Jakarta Pusat

Kecamatan	$\Delta$ max (m)	$\Delta$ min (m)	Kecepatan Penurunan (m/tahun)
Gambir	4,5	1,3	0,53
Sawah Besar	10,6	0,1	1,75
Menteng	12,6	1	1,16
Tanah Abang	9	1	0,89
Senen	11	1	1,67
Johar Baru	17,5	0,6	3,3
Bungur	10,6	1	2,4
Cempaka Putih	14	3	2,75

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perhitungan penurunan muka tanah:

- Dikarenakan data tanah yang tidak lengkap sehingga periode tahun yang digunakan di tiap kecamatan berbeda.
- Data yang didapat berupa 8 kecamatan mewakili 9 kecamatan di Jakarta Pusat.

Data penurunan muka tanah di daerah Jakarta pusat dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Penurunan muka tanah di Jakarta Pusat

Kecamatan	Penurunan Muka Tanah (m/tahun)
Gambir	0,0455
Senen	0,0306
Menteng	0,0898
Tanah Abang	0,0186
Johar Baru	0,0174
Cempaka Putih	0,0497
Bungur	0,0283
Sawah Besar	0,0314

Contoh Perhitungan Kecamatan Gambir pada Tabel 3-4 menunjukkan adanya peningkatan tegangan efektif ( $Po'$ ) akibat penurunan muka air tanah.

Tabel 3. Contoh perhitungan penurunan muka tanah kecamatan Gambir

Depth (m)	USCS tanah	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	N-Value	Po(kN/m <sup>2</sup> )	Pw(kN/m <sup>2</sup> )	Po'1(kN/m <sup>2</sup> )
0	CH	17,5	0	0	0	0
1	CH	17,5	2	17,5	9,81	7,69
2	CH	17,5	3	35	19,62	15,38
4	CH	17,5	4	70	39,24	30,76
6	CH	17,5	4	105	58,86	46,14

Tabel 4. Contoh perhitungan penurunan muka tanah kecamatan Gambir

Depth (m)	USCS tanah	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	N-Value	Po(kN/m <sup>2</sup> )	Pw(kN/m <sup>2</sup> )	Po'2(kN/m <sup>2</sup> )
0	CH	17,5	0	0	0	0
1	CH	17,5	2	17,5	0	17,5
2	CH	17,5	3	35	0	35
4	CH	17,5	4	70	0	70
6	CH	17,5	4	105	19,293	85,707

MAT = 3,5 m (diambil dari salah satu data tanah borlog)

Contoh perhitungan penurunan muka tanah pada kecamatan gambir dapat dilihat pada Tabel 3-4.

$Po = \text{Depth} \times \gamma_{sat}$ ,  $Po$  merupakan tegangan vertikal total

$Pw = (\text{Depth} - \text{MAT}) \times 9,81$

$Po' = Po - Pw$ , dimana  $Po'$  merupakan tegangan vertikal efektif dan  $Pw$  merupakan tekanan air hidrostatik

Penurunan muka tanah:

$MAT = 3,5 \text{ m} + \text{kecepatan penurunan muka air tanah } (0.5\text{m/th}) \times 1 \text{ thn}$

$SPT = 4$  (diambil dari salah satu data tanah borlog)

$$m_v = \frac{1}{760} \times SPT = 0,000329 \text{ m}^2/\text{kN}$$

$$\Delta H = 3,5 \text{ m}$$

$$\Delta\sigma = Po'1 - Po'2 = 39,56 \text{ kN/m}^2$$

$$Sc = m_v \times \Delta\sigma \times \Delta H = 0,0455 \text{ m} \approx 5 \text{ cm}$$

dimana:

$Sc$  : settlement konsolidasi

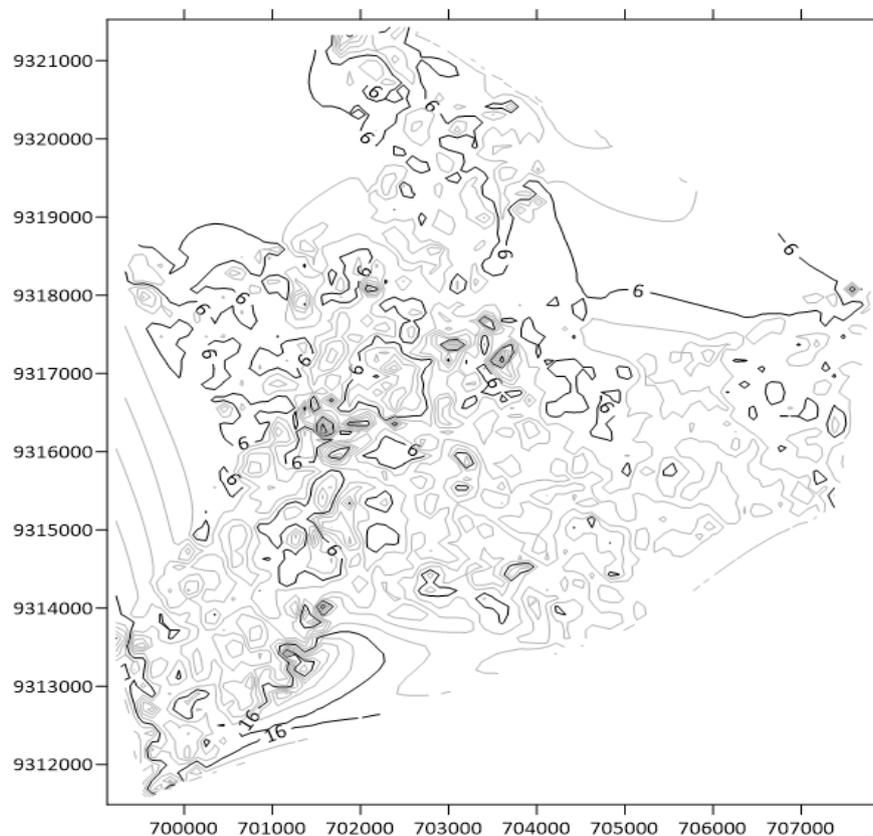
$m_v$  : koefisien perubahan volume

$\Delta H$  : tebal lapisan yang mengalami kompresi

$\Delta\sigma$  : perubahan tegangan efektif

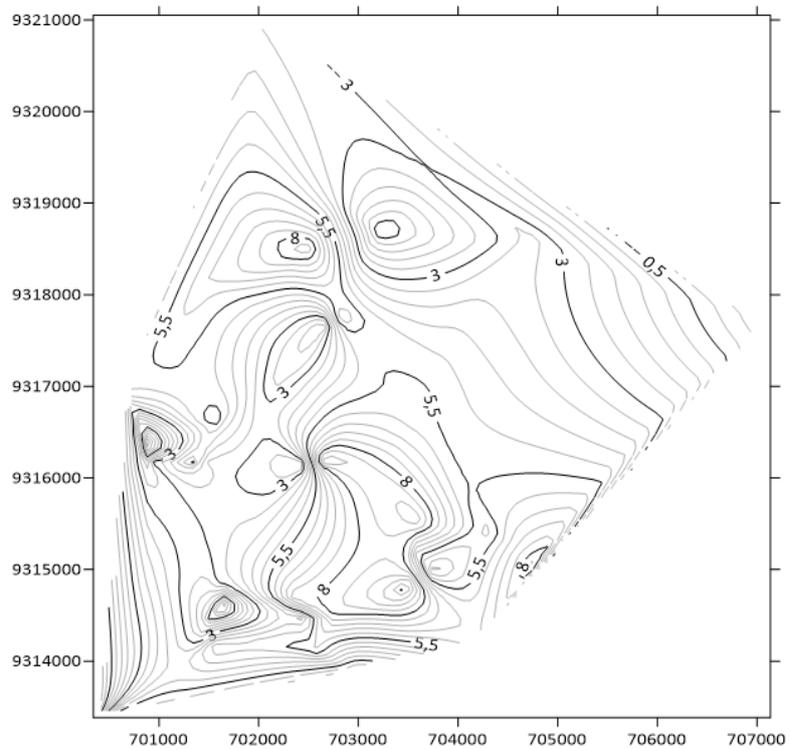
### Peta kontur tanah dan muka air Jakarta pusat

Peta kontur permukaan tanah Jakarta Pusat diekstraksi dari google earth dalam sistem koordinat *Universal Transverse Mercator* (UTM) Gambar 4, kemudian akan di buat kontur muka air tanah dari pengamatan hasil uji sondir dan *boring log* yang sudah ada. Hal ini dilakukan agar dapat menghasilkan sebuah perbandingan antara kontur muka tanah dan kontur muka air tanah yang di dapat dari pengurangan antara elevasi kontur muka tanah dan kedalaman muka air tanah.



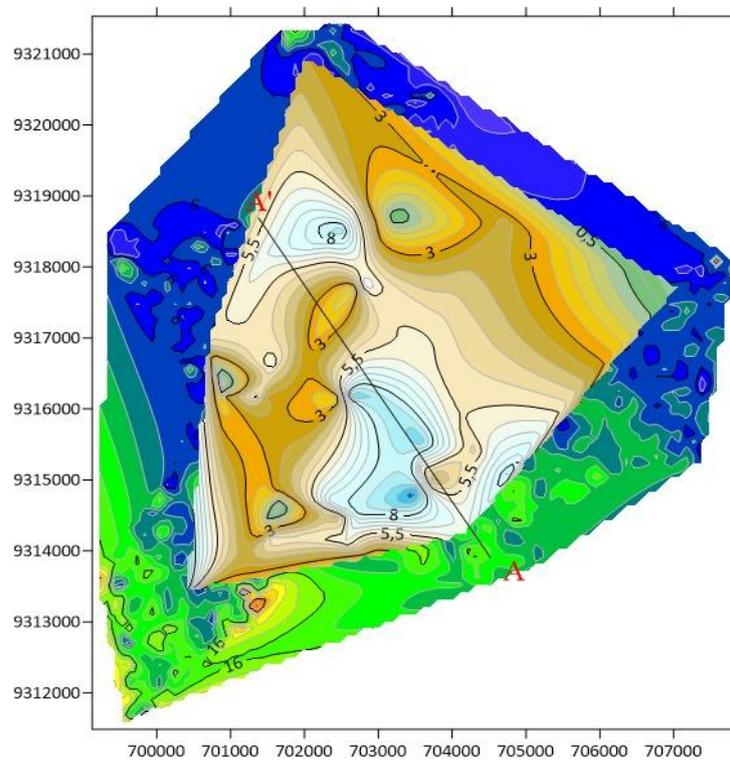
Gambar 4. Peta kontur muka tanah Jakarta Pusat

Gambar 5 merupakan peta kontur muka air tanah dari hasil sondir dan *boring log* yang ada di Kecamatan Jakarta Pusat.



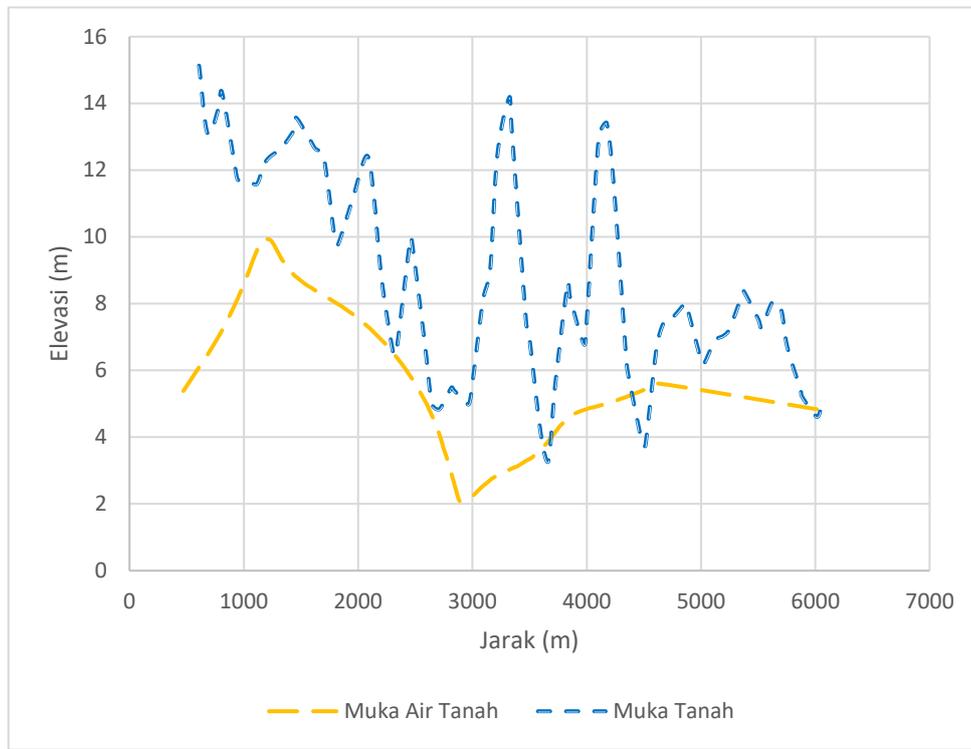
Gambar 5. Kontur elevasi muka air tanah di Jakarta Pusat

Langkah selanjutnya akan dibuat potongan melintang dari selatan ke utara yang disebut potongan A-A' di Gambar 6.



Gambar 3. Garis potongan

Pada Gambar 7 didapatkan sebuah data dimana data tersebut menunjukkan kontur muka tanah lebih rendah dibandingkan dengan muka air tanah hal ini dapat disebabkan oleh permukaan air memang mendekati permukaan tanah seperti berada dekat sungai/danau/laut.



Gambar 4. *Plotting* kontur muka tanah dan muka air tanah

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis yang dilakukan dapat diberikan kesimpulan sebagai berikut:

- Studi kasus yang dilakukan di Jakarta Pusat selama periode 2010-2022 secara jelas mengindikasikan adanya penurunan muka tanah yang signifikan, berkisar antara 2 hingga 15 cm per tahun hal ini terkonfirmasi dari hasil perhitungan contoh pada area Gambir sebesar 5cm/tahun dan 9cm/tahun pada area Menteng, dengan tren yang terus meningkat. Analisis yang dilakukan mengkonfirmasi bahwa eksploitasi air tanah yang berlebihan akibat tingginya kepadatan penduduk, pertumbuhan industri yang pesat, dan meningkatnya kebutuhan air merupakan faktor utama penyebab penurunan muka tanah yang mengkhawatirkan ini.
- Hubungan erat antara pengambilan air tanah dan penurunan muka tanah teridentifikasi melalui analisis spasial dan statistik. Area dengan tingkat eksploitasi air tanah yang tinggi menunjukkan tingkat penurunan muka tanah yang lebih besar. Fenomena ini menggarisbawahi kerentanan Jakarta Pusat terhadap masalah geologis akibat tekanan antropogenik terhadap sumber daya air tanah.
- Implikasi dari penurunan muka tanah ini sangat luas, meliputi peningkatan risiko banjir, kerusakan infrastruktur (bangunan, jalan, dan jaringan utilitas), intrusi air laut, dan potensi kerugian ekonomi yang signifikan. Kondisi ini memerlukan perhatian serius dan tindakan mitigasi yang terencana dan berkelanjutan.

Berdasarkan temuan studi ini, beberapa saran penting perlu dipertimbangkan untuk mengatasi masalah penurunan muka tanah dan muka air tanah di Jakarta Pusat:

- Penguatan Regulasi dan Pengawasan Penggunaan Air Tanah: Pemerintah daerah perlu memperketat regulasi terkait izin pengambilan air tanah, melakukan pengawasan yang lebih efektif terhadap penggunaannya, dan memberikan sanksi yang tegas bagi pelanggar. Ini termasuk pembatasan volume pengambilan dan zonasi area yang diperbolehkan untuk eksploitasi air tanah.
- Pengembangan Sumber Air Alternatif: Diversifikasi sumber air bersih perlu menjadi prioritas. Ini dapat dilakukan melalui peningkatan kapasitas dan perluasan jaringan air bersih perpipaan (PDAM), pemanfaatan air hujan, daur ulang air limbah yang aman, dan pengembangan sumber air permukaan lainnya.

- Implementasi Program Konservasi Air Tanah: Langkah-langkah konservasi air tanah harus ditingkatkan, seperti pembuatan sumur resapan, biopori, dan ruang terbuka hijau yang berfungsi sebagai area infiltrasi air dengan mempertimbangkan faktor geoteknik seperti permeabilitas tanah. Program ini perlu melibatkan partisipasi aktif dari masyarakat, sektor swasta, dan pemerintah.
- Monitoring dan Pemodelan Berkelanjutan: Sistem monitoring penurunan muka tanah dan muka air tanah secara berkala dan akurat harus terus dilakukan dan ditingkatkan. Data yang terkumpul penting untuk pengembangan model prediksi yang lebih baik, sehingga tindakan pencegahan dan mitigasi dapat dilakukan secara lebih efektif.
- Integrasi dalam Perencanaan Tata Ruang: Pertimbangan risiko penurunan muka tanah harus diintegrasikan ke dalam perencanaan tata ruang kota. Pengembangan infrastruktur dan bangunan baru harus mempertimbangkan kondisi geologis dan hidrogeologis setempat.

Dengan implementasi saran-saran ini secara komprehensif dan berkelanjutan, diharapkan masalah penurunan muka tanah dan muka air tanah di Jakarta Pusat dapat dikendalikan dan dampak negatifnya dapat diantisipasi, sehingga keberlanjutan lingkungan dan keamanan infrastruktur kota dapat diminimalisir.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, F. M. (2016). *Pemantauan penurunan tanah pada cekungan air tanah Jakarta area II* (No 21/68/Lap-BKAT.P2K/2016). Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral, Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan.
- Abidin, H. Z., Andreas, H., Djaja, R., Darmawan, D., Gamal, M. (2008). Land subsidence characteristics of Jakarta between 1997 and 2005, as estimated using GPS surveys. *GPS Solutions*, 12, 23-32. <https://doi.org/10.1007/s10291-007-0061-0>
- Afif, M., Yuwono, D., & Awaluddin, M. (2018). Studi penurunan tanah periode 2016-2017 menggunakan gamit 10.6. *Jurnal Geodesi Undip*, 7(1), 46-56. <https://doi.org/10.14710/jgundip.2017.19298>
- Agustan, A., Ito, T., Kriswati, E., Priyadi, H., Sadmono, H., & Hernawati, R. (2022). Time series InSAR analysis over Jakarta metropolitan area. *2022 IEEE Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology (AGERS), Indonesia*, 30-35. <https://doi.org/10.1109/AGERS56232.2022.10093289>
- Agustan, A., Kriswati, E., Ito, T., Abdullah, F. M., Anantasena, Y., & Nugroho, D. (2021). Land subsidence rate of Jakarta metropolitan area observed by stacking sentinel-1 data. *2021 IEEE Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology (AGERS), Indonesia*, 69-72. <https://doi.org/10.1109/AGERS53903.2021.9617239>
- Church, J., Wilson, S., Woodworth, P., & Aarup, T. (2007). Understanding sea level rise and variability. *Eos Trans. AGU*, 88(4), 43-43, doi:10.1029/2007EO040008.
- Delinom, R. M., Assegaf, A., Abidin, H. Z., Taniguchi, M., Suherman, D., Lubis, R. F., & Yulianto, E. (2009). The contribution of human activities to subsurface environment degradation in Greater Jakarta Area, Indonesia. *Science of the Total Environment*, 407(9), 3129-3141. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.10.003>
- Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta. (2021). *Laporan pemantauan kualitas lingkungan air sungai Provinsi DKI Jakarta Tahun 2021*. Pemerintah Provinsi DKI Jakarta. [https://lingkunganhidup.jakarta.go.id/files/laporan2021/FINAL\\_Laporan\\_Pemantauan\\_Sungai\\_DKI\\_2021\\_10\\_1221\\_NEW\\_compressed.pdf](https://lingkunganhidup.jakarta.go.id/files/laporan2021/FINAL_Laporan_Pemantauan_Sungai_DKI_2021_10_1221_NEW_compressed.pdf)
- Hutabarat, L. E. (2017). Study of land subsidence due to excessive groundwater extraction in DKI Jakarta. Dalam *Kumpulan karya ilmiah dosen Universitas Kristen Indonesia Delapan Windu* (pp. 360-374).
- Lorenza, A., Sentosa, G. S., & Iskandar, A. (2019). Pemodelan pumping test sebagai dasar perhitungan dewatering pada proyek di Sudirman. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(2), 161-172. <https://doi.org/10.24912/jmts.v2i2.4305>
- Marjuanto, A. A., Putranto, T. T., & Sugianto, D. N. (2019). Mapping of groundwater vulnerability index in the alluvial plain of Semarang City using the susceptibility index method. *E3S Web of Conferences*, 125, 01010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912501010>
- Permatasari, D., & Sentosa, G. S. (2019). Analisis pengaruh parameter dewatering terhadap penurunan muka air tanah dan tegangan pada tanah. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(1), 1-10. <https://doi.org/10.24912/jmts.v2i1.3029>
- Pusat Data dan Informasi Sumber Daya Air Dinas Sumber Daya Air Provinsi DKI Jakarta. (2023). Sistem data informasi geologi dan air tanah. *Terkini*. Diambil Januari 19, 2023, dari <https://siga.jakarta.go.id/>
- Putra, A., Wicaksono, A., Agustin, H. N., Agustina, N., Dewina, N., Putri, R., Kevin, F., & Pratama, T. (2021). Impact of drainage problems in the city of Jakarta. *Journal of Global Environmental Dynamics*, 2(1), 8-12. <https://jurnal.uns.ac.id/jged/article/view/44872>
- Susana, T. (2003). Air sebagai sumber kehidupan. *Oseana*, 28(3), 17-25.

