

**Analisis Tingkat Kerentanan terhadap Penurunan Tanah (*Land Subsidence*) berdasarkan Kondisi Hidrogeologi dan Mitigasinya di Daerah Pesisir Cekungan Air Tanah Jakarta*****Analysis of Land Subsidence Vulnerability based on Hydrogeological Conditions and Its Mitigation in the Coastal Area of the Jakarta Groundwater Basins***Delano Ichsan Hakkina<sup>1</sup>, Thomas Triadi Putranto<sup>1</sup>, dan Taat Setiawan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jalan Prof. H. Soedarto, S.H., Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275, Indonesia  
<sup>2</sup>Balai Konservasi Air Tanah, Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan, Badan Geologi, Kementerian ESDM  
Jl. Tongkol, Jakarta Utara, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 14430, Indonesia

*e-mail:* putranto@ft.undip.ac.id

Naskah diterima 8 Agustus 2023, selesai direvisi 25 Desember 2023, dan disetujui 30 Desember 2023

**ABSTRAK**

Penurunan tanah telah menjadi bahaya yang signifikan bagi kota-kota besar di Indonesia, termasuk wilayah perkotaan besar di daerah pesisir cekungan air tanah (CAT) Jakarta. Kondisi geologi daerah pesisir cekungan air tanah Jakarta umumnya terdiri atas endapan aluvial dan formasi litologi berumur muda, sehingga menjadikan wilayah ini rentan terhadap penurunan tanah akibat kompaksi alami pada lapisan lempung (akuitar). Adanya pengambilan air tanah yang tinggi serta aktivitas pembangunan oleh manusia telah menjadikan resiko bahaya penurunan tanah di cekungan air tanah Jakarta meningkat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penyebab utama dan persebaran zona kerentanan penurunan tanah untuk menentukan strategi mitigasi di daerah pesisir cekungan air tanah Jakarta. Metode yang digunakan adalah skoring dan tumpang tindih dengan menggunakan parameter tebal lempung-lempung pasiran, kedalaman muka air tanah tertekan, dan jenis tata guna lahan yang telah diberikan bobot berdasarkan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Hasil penggabungan ketiga parameter akan menghasilkan peta sebaran tingkat kerentanan penurunan tanah. Didapatkan bahwa wilayah barat laut dan tengah daerah penelitian termasuk ke dalam zona kerentanan rendah (3,9%), wilayah timur, selatan, dan barat laut masuk ke dalam zona kerentanan sedang (44,5%), serta wilayah utara, tengah, dan tenggara masuk ke dalam zona kerentanan tinggi (51,5%). Upaya mitigasi yang dapat direkomendasikan adalah dengan melakukan pemantauan kondisi air tanah dan penurunan muka tanah jangka panjang, investigasi dan pembaharuan data hidrogeologi dan geologi teknik bawah permukaan, melakukan penelitian yang lebih spesifik terkait penurunan tanah pada daerah yang rentan/terdampak penurunan tanah, serta penggunaan data penelitian sebagai pertimbangan dalam penentuan kebijakan administratif.

**Kata kunci:** AHP, Cekungan Air Tanah Jakarta, Mitigasi, Penurunan Tanah**ABSTRACT**

*Land subsidence has become a significant hazard for major cities in Indonesia, including large urban areas in the coastal areas of the Jakarta groundwater basin (CAT). The geological condition of the coastal area of the Jakarta groundwater basin generally consists of alluvial deposits and young lithological formations, making this area vulnerable to land subsidence due to natural compaction in the aquitard. The existence of high groundwater extraction and development activities by humans has increased the risk of land subsidence in the Jakarta groundwater basin. This study aims to determine the main causes and distribution of land subsidence vulnerability zones to determine mitigation strategies in the coastal areas of the Jakarta groundwater basin. The method used is scoring and overlay using parameters of the thickness of sandy loams, the depth of the depressed groundwater table, and the type of land use that has been given a weight based on the Analytical Hierarchy Process (AHP) method. The results of combining the three parameters will produce a map of the distribution of land subsidence susceptibility levels. It was found that the northwestern and central areas of the study area were included in the low vulnerability zone (3.9%), the east, south and northwest were included in the moderate vulnerability zone (44.5%), as well as the northern, central and southeast is included in the*

*high vulnerability zone (51.5%). Mitigation efforts that can be recommended are monitoring groundwater conditions and long-term subsidence, investigating and updating subsurface hydrogeological and engineering geological data, conducting more specific research related to land subsidence in areas that are vulnerable/ affected by land subsidence, and using data research as a consideration in determining administrative policies.*

**Keywords:** AHP, Jakarta Groundwater Basin, Mitigation, Land Subsidence

## PENDAHULUAN

Penurunan tanah atau peristiwa amblesan tanah secara bertahap, dianggap sebagai tantangan global dalam berbagai disiplin ilmu, termasuk juga di wilayah pesisir Jawa, seperti daerah cekungan air tanah (CAT) Jakarta (Sarah dr., 2018; Bagheri-Gavkosh dr., 2021). Penurunan tanah dapat terjadi dalam bentuk penurunan permukaan bumi secara bertahap atau tiba-tiba akibat pergerakan material di bawah permukaan atau ketika lapisan bawah permukaan (sedimen atau batuan) tidak dapat menahan tekanan dari lapisan atas (Arabamaeri dr., 2021). Pada masa sekarang, penerapan metode penginderaan jauh telah mendapat banyak perhatian dalam menggambarkan dan memantau proses penurunan tanah (Ciampalini dr., 2014 dalam Rao dr., 2022). Salah satu metode yang dipertimbangkan dan mulai dikenal dalam studi penurunan tanah adalah metode *Analytical Hierarchy Process (AHP)*. AHP merupakan sebuah teori perhitungan umum yang digunakan untuk memperoleh skala rasio pembobotan dari perbandingan berpasangan yang bersifat diskrit dan kontinu (Saaty, 1987). Sebagai contoh, Hu dr. (2009) melakukan penilaian risiko penurunan tanah dengan menggunakan AHP di daerah pesisir Tianjin, China. Kwesi dr. (2023) melakukan penilaian risiko penurunan tanah dengan menggunakan AHP di Prestea-Huni Valley Municipality, Ghana.

Kondisi geologi daerah CAT Jakarta yang umumnya terdiri atas endapan alluvial dan formasi litologi berumur muda menjadikan wilayah ini rentan terhadap penurunan tanah akibat adanya kompaksi alami pada lapisan lempung yang memiliki tingkat kompresibilitas tinggi (Sarah dr., 2018). Adanya pengambilan air tanah yang tinggi serta populasi yang besar dan aktivitas pembangunan oleh manusia yang

meningkat telah menjadikan resiko bahaya penerunan tanah di CAT Jakarta semakin meningkat (Sarah dan Soebowo, 2018). Semua faktor di atas dipercaya menjadi penyebab penurunan tanah di wilayah pesisir CAT Jakarta. Secara umum terdapat beberapa permasalahan yang telah terjadi akibat penurunan tanah di wilayah CAT Jakarta, seperti meluasnya daerah genangan banjir, terjadinya kerusakan bangunan dan jalan, serta rusaknya sistem saluran air. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai kejadian penurunan tanah dan faktor yang mempengaruhinya agar ketersediaan informasi mengenai kejadian penurunan tanah dapat digunakan sebagai pertimbangan upaya mitigasi berkelanjutan.

Berdasarkan permasalahan dan bahaya yang ditimbulkan akibat penurunan tanah, perlu dilakukan upaya mitigasi untuk meminimalisir dan mengantisipasi terjadinya permasalahan yang lebih besar. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan mengenali faktor-faktor yang menjadi penyebab utama penurunan tanah di wilayah CAT Jakarta, yaitu mengetahui pengaruh geologi dan hidrogeologi terhadap kejadian penurunan tanah. Oleh karena itu, penelitian mengenai penurunan tanah di wilayah pesisir CAT Jakarta perlu dilakukan untuk mengetahui daerah yang rentan terdampak penurunan tanah beserta rekomendasi langkah mitigasinya agar dampak dan kerusakan yang terjadi akibat penurunan tanah dapat diminimalisir.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan dua data, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer yang digunakan berupa data pengukuran yang dilakukan oleh instansi

berupa 35 data pengeboran, 52 data sumur bor air tanah, pengukuran GPS geodetik, serta data citra Landsat-8. Data sekunder yang digunakan berupa hasil jurnal dan penelitian terdahulu, seperti peta geologi regional dan hidrogeologi regional.

Penelitian ini dimulai dengan tahapan pendahuluan berupa studi literatur dan kajian pustaka mengenai permasalahan penurunan tanah di daerah penelitian. Selanjutnya, dilakukan tahap pengumpulan data berupa data primer dan data sekunder. Data yang telah diperoleh selanjutnya diolah dan dilakukan analisis dan interpretasi untuk memperoleh hasil akhir berupa peta tingkat kerentanan penurunan tanah di daerah pesisir CAT Jakarta.

Pada tahap pengolahan dan analisis data, dilakukan analisis data pengeboran untuk mendapatkan gambaran bawah permukaan daerah penelitian, dengan hasil berupa penampang bawah permukaan dan hidrostratigrafi unit. Setelah itu, dilakukan perhitungan tebal lapisan lempung-lempung pasiran pada setiap data pengeboran untuk mendapatkan peta persebaran tebal lapisan lempung-lempung pasiran di daerah penelitian. Selanjutnya, dilakukan pengolahan data sumur bor air tanah untuk mengetahui kedalaman muka air tanah tertekan di daerah penelitian. Dilakukan juga pengolahan data citra Landsat-8 untuk mengetahui jenis tutupan lahan untuk menghasilkan peta tata guna lahan. Ketiga parameter selanjutnya dikelaskan sesuai dengan pengaruhnya terhadap penurunan tanah (Tabel 1,2,3).

Ketiga parameter tersebut kemudian diberi bobot dengan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk mengetahui

Tabel 1. Klasifikasi kedalaman muka air tanah terhadap penurunan tanah (Arabameri drr, 2021)

Kedalaman Air Tanah (m)	Nilai Kelas
<12,77	1
12,77 – 18,32	2
18,32 – 23,09	3
23,09 – 31,23	4
>31,23	5

Tabel 2. Klasifikasi ketebalan lapisan lempung kompresibel terhadap penurunan tanah (Rezaei drr, 2022)

Ketebalan Lempung Kompresibel (m)	Penurunan Tanah (%)	Nilai Kelas
<40	0	1
40 – 80	3,61	2
80 – 120	4,91	3
120 – 160	30,02	4
160 – 200	61,46	5

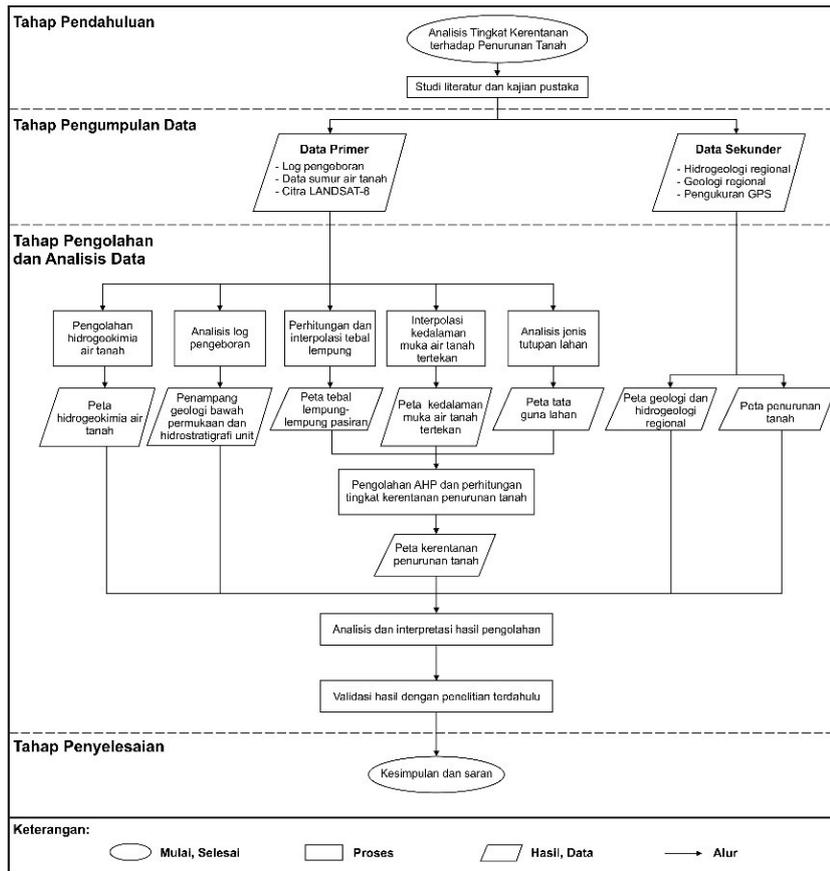
Tabel 3. Klasifikasi tata guna lahan terhadap penurunan tanah berdasarkan model *frequency ratio* (Hakim drr, 2020).

Kelas Tata Guna Lahan	FR	Nilai Kelas
Tambak ikan	0,025	1
Semak belukar/vegetasi alami	0,144	2
campuran pertanian lahan kering Sawah	0,163	3
Lahan terbuka/tandus	0,467	4
Lahan terbangun (pemukiman, gedung, dll)	2,011	5

tingkat kepentingannya terhadap penurunan tanah. Data dari setiap parameter yang telah diberi bobot kemudian dilakukan perhitungan *overlay* dengan formula seperti pada (1), sehingga diperoleh hasil berupa peta kerentanan penurunan tanah. Hasil peta kerentanan penurunan tanah digolongkan menjadi 3 tingkat rasio sesuai dengan buku pedoman Resiko Bencana Indonesia (RBI) menurut BNPB (2016), yaitu tingkat risiko tinggi, sedang, dan rendah. Interval tiap tingkat risiko dihitung berdasarkan rumus Kingma seperti dalam (2) (Wismarini dan Anis, 2014). Hasil peta kerentanan kemudian akan di analisis dan dibandingkan dengan peta penurunan tanah dari instansi dan penelitian terdahulu. Berdasarkan tahapan penelitian yang telah dijelaskan sebelumnya, maka alur keberlangsungan penelitian ini dapat diringkas menjadi sebuah diagram alir penelitian (Gambar 1).

$$PT = (w_{TL} \times r_{TL}) + (w_{MAT} \times r_{MAT}) + (w_{TGL} \times r_{TGL}) \dots (1)$$

Notasi *PT* adalah kerentanan penurunan tanah,  $w_{TL}$  adalah bobot nilai tebal lempung-lempung pasiran,  $r_{TL}$  adalah faktor tebal lempung-lempung pasiran,  $w_{MAT}$  adalah bobot nilai elevasi



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

muka air tanah tertekan,  $r_{MAT}$  adalah faktor elevasi muka air tanah tertekan  $w_{TGL}$  adalah bobot nilai tata guna lahan, dan  $r_{TGL}$  adalah faktor tata guna lahan.

$$K_i = \frac{X_t - X_r}{k} \dots\dots\dots (2)$$

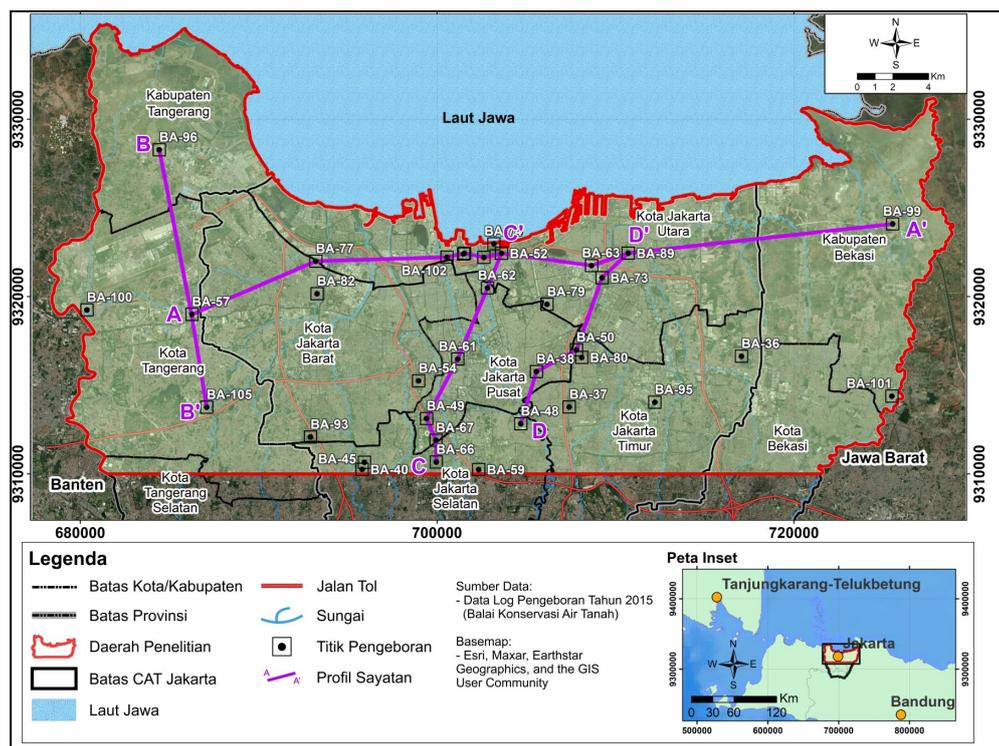
Notasi  $K_i$  adalah kelas interval,  $X_t$  adalah data tertinggi,  $X_r$  adalah data terendah, dan  $k$  adalah jumlah kelas yang diinginkan.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Kondisi Bawah Permukaan. Terdapat empat sayatan yang dibuat untuk mengetahui kondisi bawah permukaan melalui pemodelan penampang (Gambar 2). Berdasarkan penampang hidrostratigrafi unit bawah permukaan di daerah pesisir CAT Jakarta (Gambar 3a,b,c,d), dapat diketahui bahwa daerah penelitian tersusun

atas satuan lempung-lempung pasir dan pasir secara berselingan sebagai material penyusun utama lapisan bawah permukaan. Jenis litologi bawah daerah penelitian berupa batugamping, kerikil, pasir, dan lempung-lempung pasir. Satuan litologi tersebut membentuk komponen sistem akuifer masing-masing. Satuan pasir dan kerikil berperan sebagai lapisan akuifer yang dapat dibedakan menjadi dua, yaitu akuifer bebas dan akuifer tertekan. Lapisan batugamping berperan sebagai lapisan akuitar. Lapisan lempung-lempung pasir berperan sebagai lapisan akuiklud-akuitar

Kondisi Kedalaman Muka Air Tanah Tertekan. Berdasarkan peta kedalaman muka air tanah tertekan (Gambar 4), dapat diketahui nilai kedalaman muka air tanah pada daerah penelitian berkisar antara 1 – 42 m terhadap permukaan tanah, dimana kedalaman terendah ditunjukkan dengan warna biru cerah dan kedalaman



Gambar 2. Peta persebaran titik bor daerah penelitian.

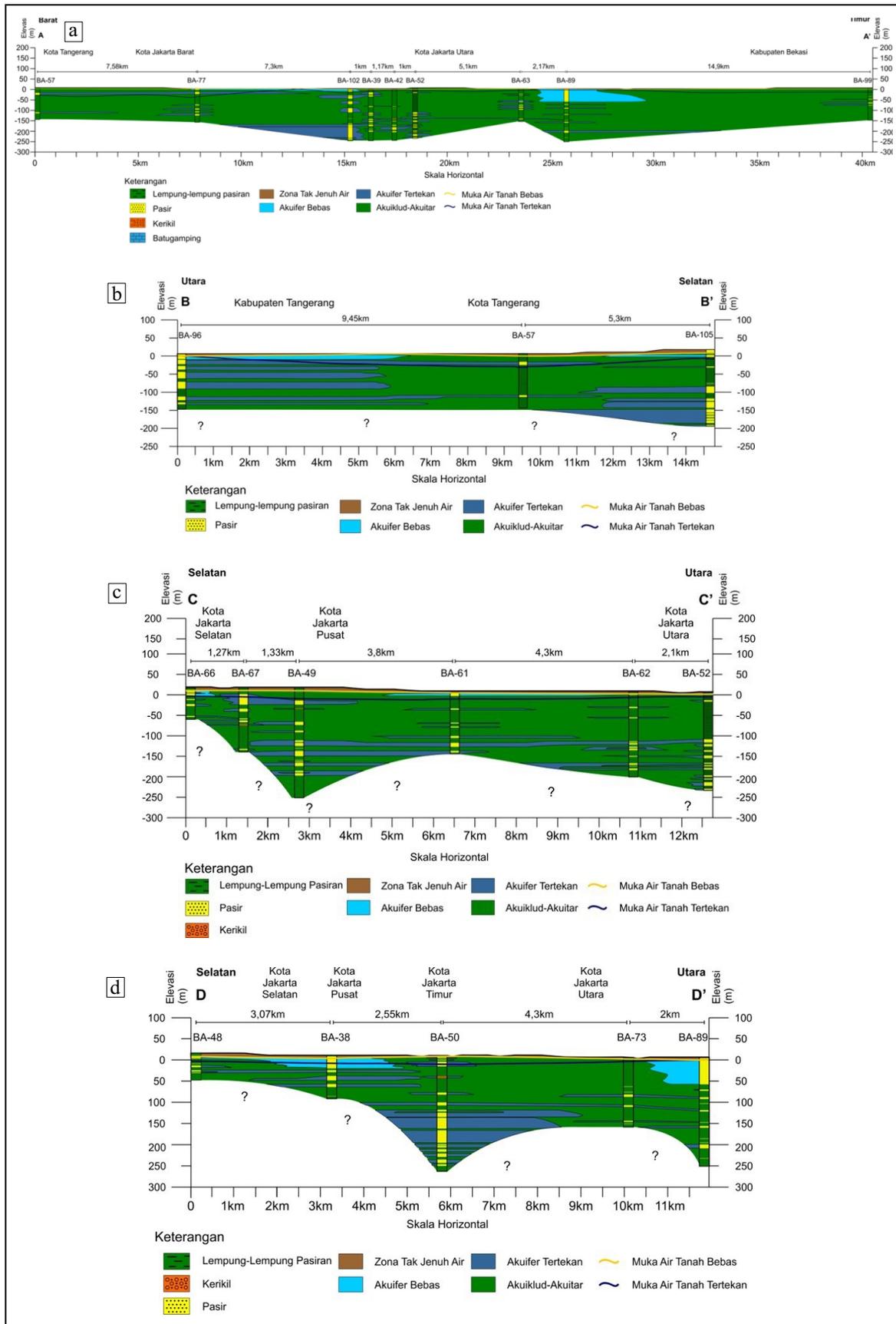
tertinggi ditunjukkan dengan warna biru tua. Nilai kedalaman muka air tanah menunjukkan kondisi persebaran air tanah yang berhubungan dengan pengambilan dan pengisian air pada akuifer. Semakin dangkal nilai kedalaman muka air tanah, maka semakin kecil aktivitas ekstraksi atau pengambilan.

**Kondisi Tebal Lempung-Lempung Pasiran.** Berdasarkan peta sebaran tebal lapisan lempung (Gambar 5), dapat diketahui bahwa total tebal lapisan lempung-lempung pasiran pada daerah penelitian memiliki rentang nilai sebesar 48,33 – 200 m. Daerah dengan nilai ketebalan lapisan lempung-lempung pasiran yang tinggi ditunjukkan dengan warna hijau tua dan tersebar di bagian utara kavling. Kondisi lempung pada daerah penelitian tidak sepenuhnya bersifat sebagai lapisan lempung yang homogen (akuiklud), tetapi berselingan dengan lempung pasiran (akuitar). Parameter tebal lempung memberikan gambaran mengenai kondisi endapan material lempung-lempung pasiran yang berperan sebagai lapisan akuiklud-akuitar pada strata hidrostratigrafi daerah pesisir CAT Jakarta. Se-

makin tebal lapisan lempung-lempung pasiran (akuiklud-akuitar), maka semakin berpotensi dan semakin besar kejadian penurunan tanah. Sedangkan semakin tipis lapisan lempung-lempung pasiran (akuiklud-akuitar), maka semakin kecil potensi dan kejadian penurunan tanah.

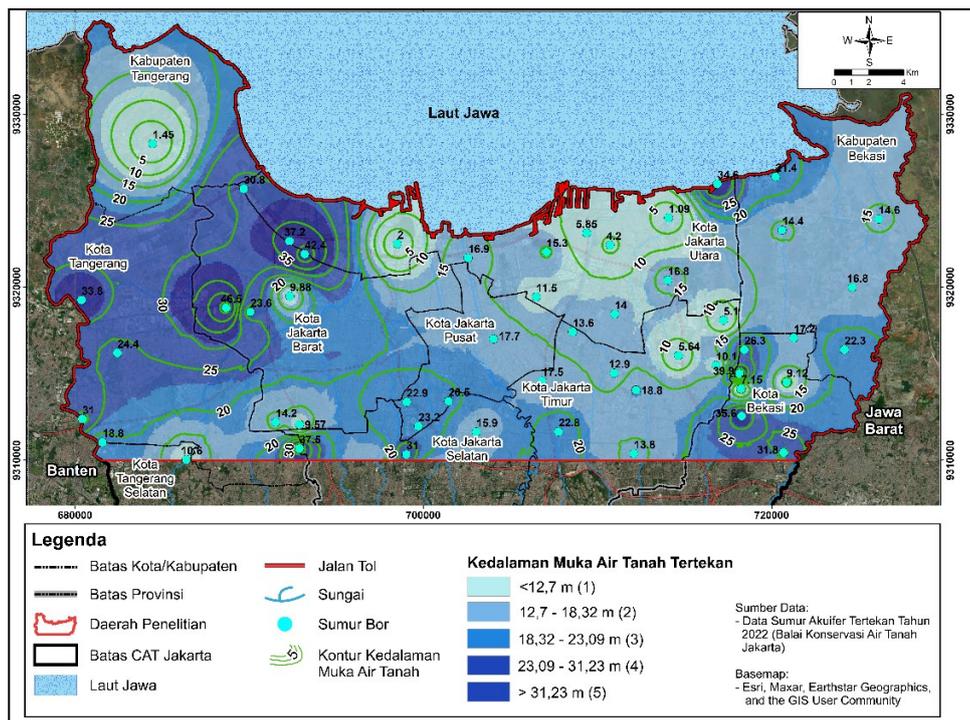
**Kondisi Tata Guna Lahan.** Berdasarkan klasifikasi menurut Hakim dr. (2020), didapatkan 5 kelas tata guna lahan sesuai dengan besar pengaruhnya terhadap penurunan tanah (Gambar 6) yaitu kelas 1 berupa tubuh air alami dan tubuh air buatan; kelas 2 berupa vegetasi alami dan tanaman budidaya menetap; kelas 3 berupa sawah; kelas 4 berupa lahan terbuka; dan kelas 5 berupa lahan pemukiman dan bangunan bukan pemukiman. Klasifikasi tersebut menunjukkan bahwa lahan pemukiman dan bangunan terbangun bukan pemukiman memiliki potensi kejadian penurunan tanah paling tinggi.

**Perhitungan AHP.** Berdasarkan hasil pengolahan yang dilakukan, didapatkan hasil pembobotan pada setiap parameter seperti pada Tabel 4, yaitu tebal lapisan lempung-lempung pasiran sebesar

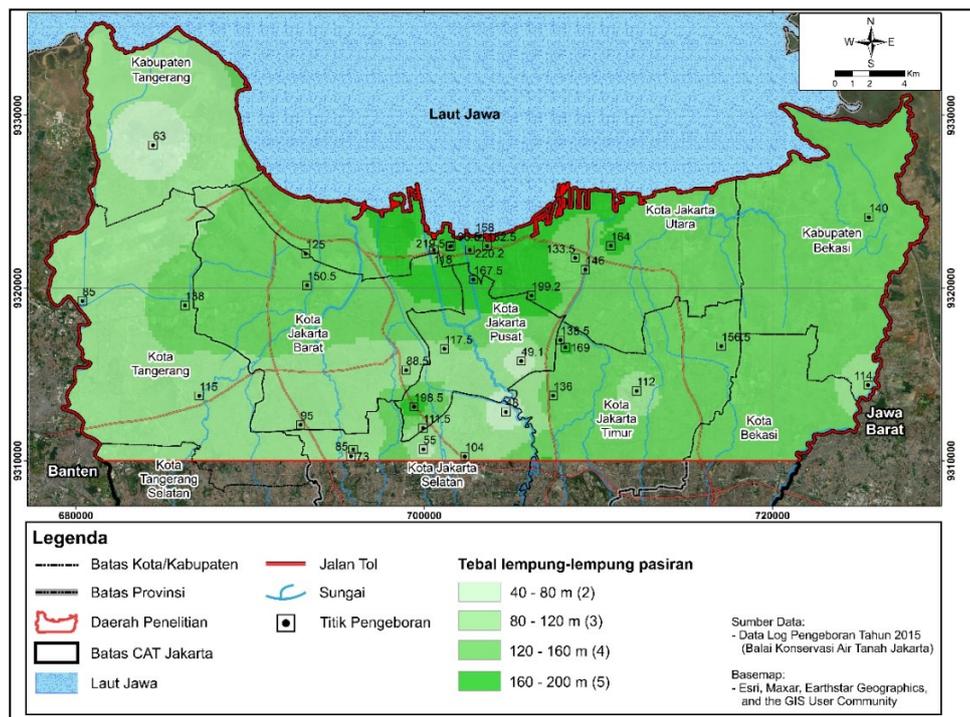


Gambar 3. Penampang hidrostratigrafi unit. Sayatan barat-timur (a) dan utara-selatan (b,c,d).

Analisis Tingkat Kerentanan terhadap Penurunan Tanah (Land Subsidence berdasarkan Kondisi Hidrogeologi dan Mitigasinya di Daerah Pesisir Cekungan Air Tanah Jakarta



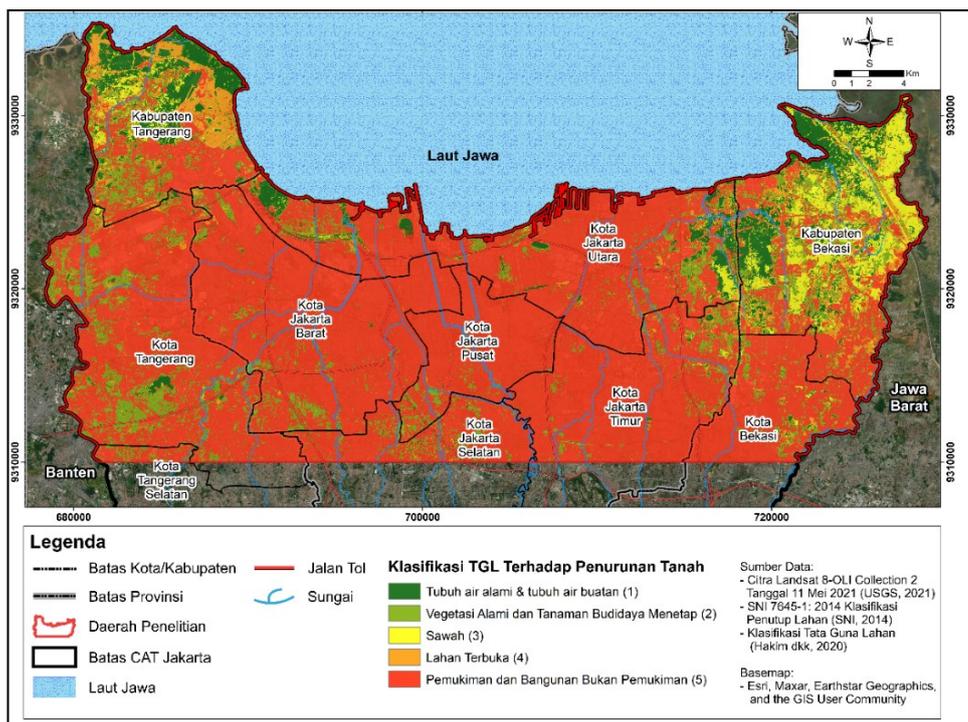
Gambar 4. Peta kedalaman muka air tanah tertekan.



Gambar 5. Peta tebal lempung-lempung pasir daerah penelitian.

0,57, kedalaman muka air tanah sebesar 0,274, dan tata guna lahan sebesar 0,156. Hasil pembobotan tersebut dapat dikatakan valid dan logis

karena perhitungan akhir dari pendapat ke-enam responden memiliki nilai *inconsistency* sebesar 0,00085 atau 0,085%. Hal tersebut menunjukkan



Gambar 6. Peta tata guna lahan daerah penelitian.

Tabel 4. Bobot penilaian hasil pengolahan AHP

Parameter	Bobot
Tebal lempung	0,570
Kedalaman MAT	0,274
Tata guna lahan	0,156

Tabel 5. Nilai skor tebal lempung-lempung pasiran

Bobot	Kelas parameter	Nilai kelas	Skor (Bobot x nilai)
0,57	40 - 80 m	2	1,14
	80 - 120 m	3	1,71
	120 - 160 m	4	2,28
	160 - 200 m	5	2,85

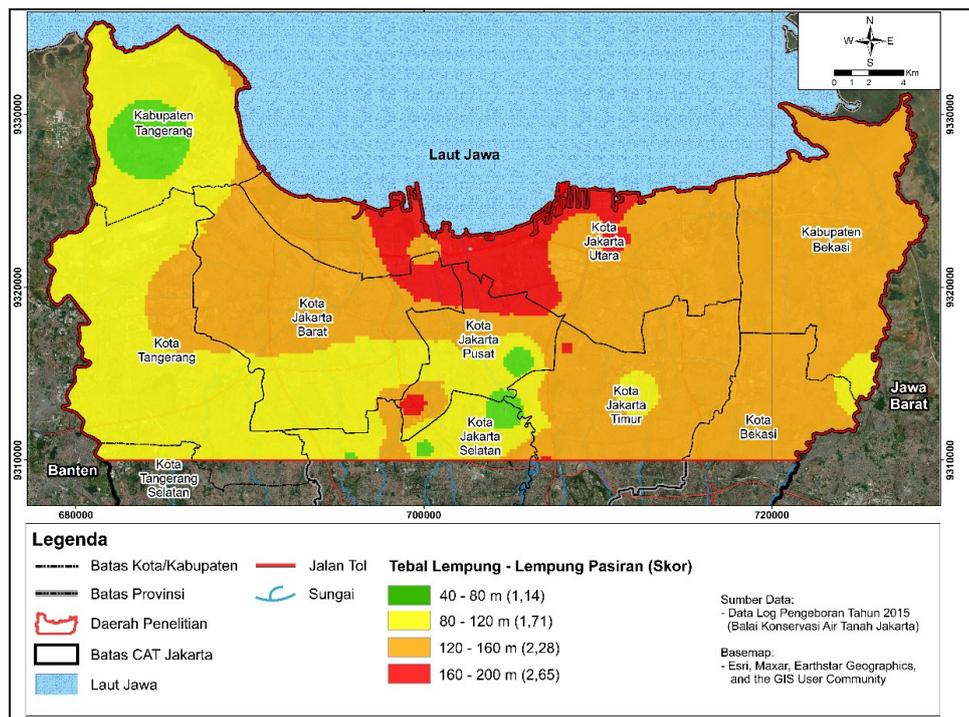
bahwa pendapat dari setiap responden memiliki tingkat konsistensi jawaban yang tinggi, sehingga pendapat dari responden tersebut dapat dipertanggung jawabkan kebenarannya.

Peta Kerentanan Penurunan Tanah. Parameter utama penyebab penurunan tanah di daerah penelitian adalah tebal lapisan lempung-lempung pasiran, yang mencapai tingkat kepentingan sebesar 57% berdasarkan metode AHP. Semakin tebal lapisan lempung-lempung pasiran, maka semakin besar bobot yang dimiliki, sehingga potensi kejadian penurunan tanah juga semakin tinggi. Hasil analisis pembobotan parameter tebal lempung-lempung pasiran dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 7.

Parameter kedalaman muka air tanah tertekan memiliki tingkat kepentingan sebesar 27,4%

terhadap kejadian penurunan tanah di pesisir CAT Jakarta. Semakin dangkal kedalamannya, maka tingkat kejadian penurunan tanah semakin kecil, begitu juga sebaliknya. Oleh karena itu, semakin dangkal nilai kedalaman muka air tanah tertekan, maka bobot nilainya semakin kecil. Hasil analisis pembobotan parameter kedalaman muka air tanah tertekan dapat dilihat pada Tabel 6 dan Gambar 8.

Parameter tata guna lahan memiliki tingkat kepentingan sebesar 15,6% terhadap kejadian penurunan tanah di pesisir CAT Jakarta. Semakin padat penduduk atau bangunan yang melingkupi suatu wilayah, maka tingkat kejadian penurunan tanah semakin besar, begitu juga sebaliknya. Oleh karena itu, semakin padat dan berkembang suatu wilayah, maka bobot nilainya semakin



Gambar 7. Peta skor parameter tebal lempung-lempung pasiran.

Tabel 6. Nilai skor kedalaman air tanah tertekan

Bobot	Kelas parameter	Nilai kelas	Skor (Bobot x nilai)
0,274	< 12,7	1	0,27
	12,7 - 18,32	2	0,55
	18,32 - 23,09	3	0,82
	23,09 - 31,23	4	1,10
	> 31,23	5	1,37

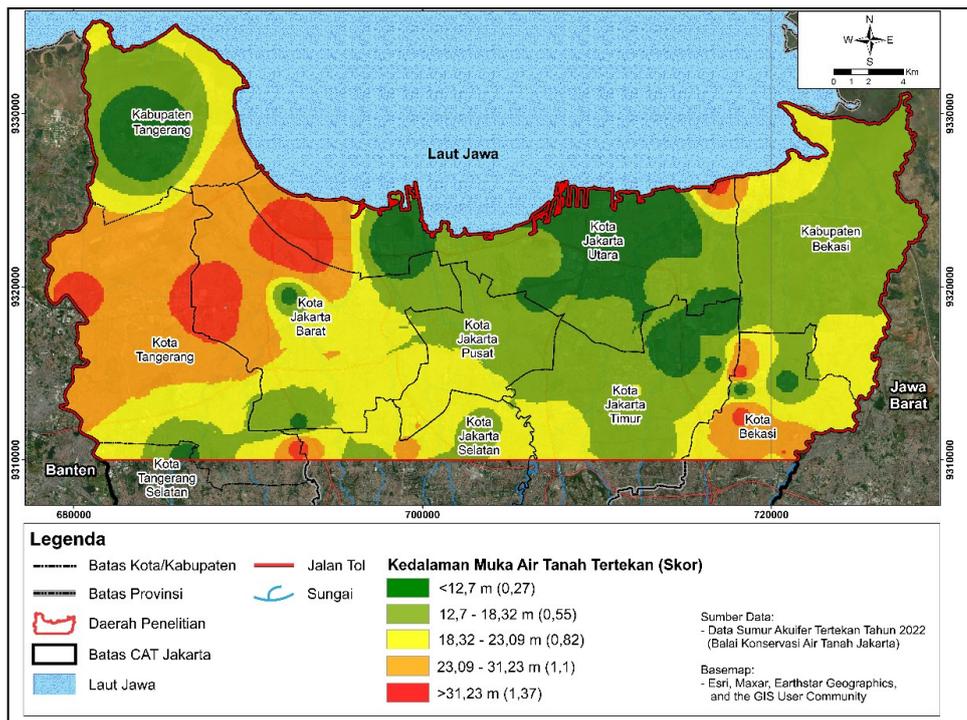
besar. Hasil analisis pembobotan parameter tata guna lahan dapat dilihat pada Tabel 7 dan Gambar 9.

Berdasarkan 3 parameter yang digunakan dalam penelitian ini, didapatkan hasil perhitungan *overlay* dengan nilai terendah sebesar 1,57 dan skor tertinggi sebesar 4,45 yang kemudian diolah menjadi peta zona kerentanan penurunan tanah (Gambar 10). Menurut pengelompokan tingkat risiko bencana oleh BNPB (2016) dan perhitungan interval kelas dengan rumus Kingma (2), didapatkan 3 tingkat kerentanan penurunan tanah beserta interval skor pada masing-masing kelas seperti yang ditunjukkan pada Tabel 8. Berdasarkan Tabel 9, dapat diketahui bahwa daerah pesisir CAT Jakarta mayoritas

termasuk ke dalam zona kerentanan penurunan tanah tingkat tinggi dengan luas 413 km<sup>2</sup> atau sekitar 51,5% luas daerah pesisir CAT Jakarta, yang kemudian diikuti oleh zona kerentanan sedang seluas 356,7 km<sup>2</sup> (44,5%).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil 48 titik pengukuran penurunan tanah dari Balai Konservasi Air Tanah Jakarta, diketahui bahwa penurunan tanah pada daerah pesisir CAT Jakarta memiliki nilai paling tinggi hingga -35 cm di atas permukaan laut (Gambar 11a). Kota Jakarta Utara memiliki tingkat penurunan tanah yang tergolong sedang – sangat tinggi, yaitu sebesar -12 hingga -34 cm. Hal tersebut berkorelasi dengan peta kerentanan penurunan tanah hasil pengolahan (Gambar 11b) yang menyebutkan bahwa daerah Jakarta Utara memiliki tingkat kerentanan penurunan tanah yang tergolong sedang – tinggi. Menurut Sarah (2022), kejadian penurunan tanah di Jakarta Utara disebabkan oleh karakteristik litologinya, dimana penurunan permukaan air tanah yang terus berlanjut berkontribusi kecil



Gambar 8. Peta skor parameter kedalaman muka air tanah tertekan.

Tabel 7. Nilai skor jenis tata guna lahan

Bobot	Kelas parameter	Nilai kelas	Skor (Bobot x nilai)
0,156	Tubuh air alami dan buatan	1	0,16
	Vegetasi alami dan tanaman budidaya menetap	2	0,31
	Sawah	3	0,47
	Lahan terbuka	4	0,62
	Pemukiman dan bangunan bukan pemukiman	5	0,78

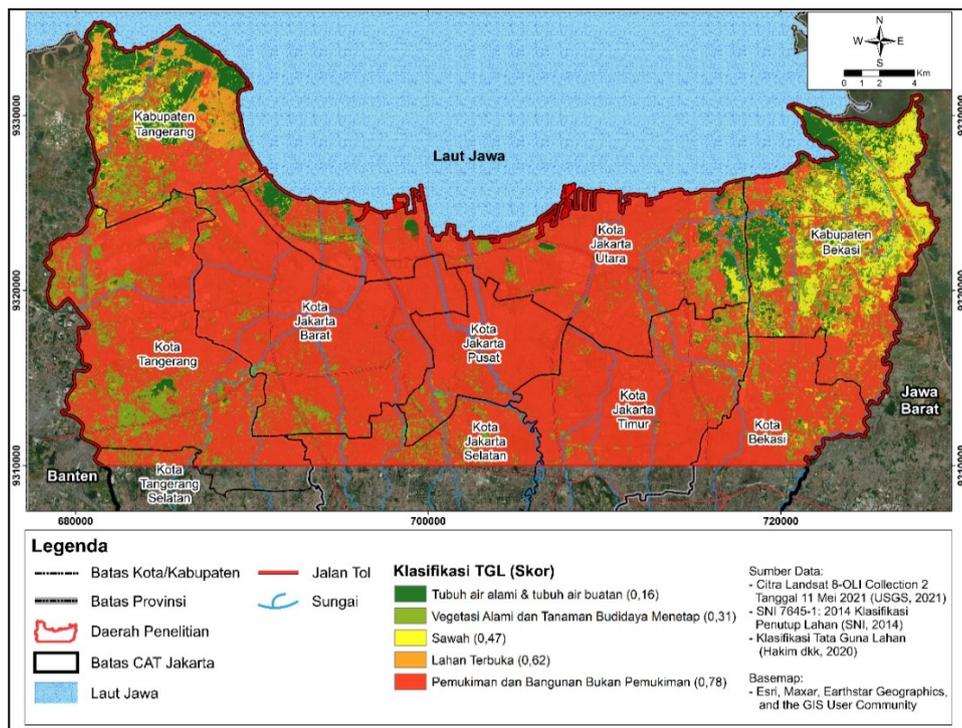
terhadap penurunan total dibandingkan dengan permukaan air tanah tahun 2015. Pendapat tersebut didukung oleh Pranantya drr. (2017) yang menyebutkan bahwa kejadian penurunan tanah di Kota Jakarta Utara terjadi akibat perubahan kondisi lapisan kompresibel yang dipengaruhi oleh beban tanah penutup yang berat dan pengambilan air tanah.

Sebagian wilayah Kota Jakarta Barat memiliki tingkat penurunan tanah yang tergolong tinggi, yaitu sebesar -20 hingga -24 cm. Hal tersebut berkorelasi dengan peta kerentanan penurunan

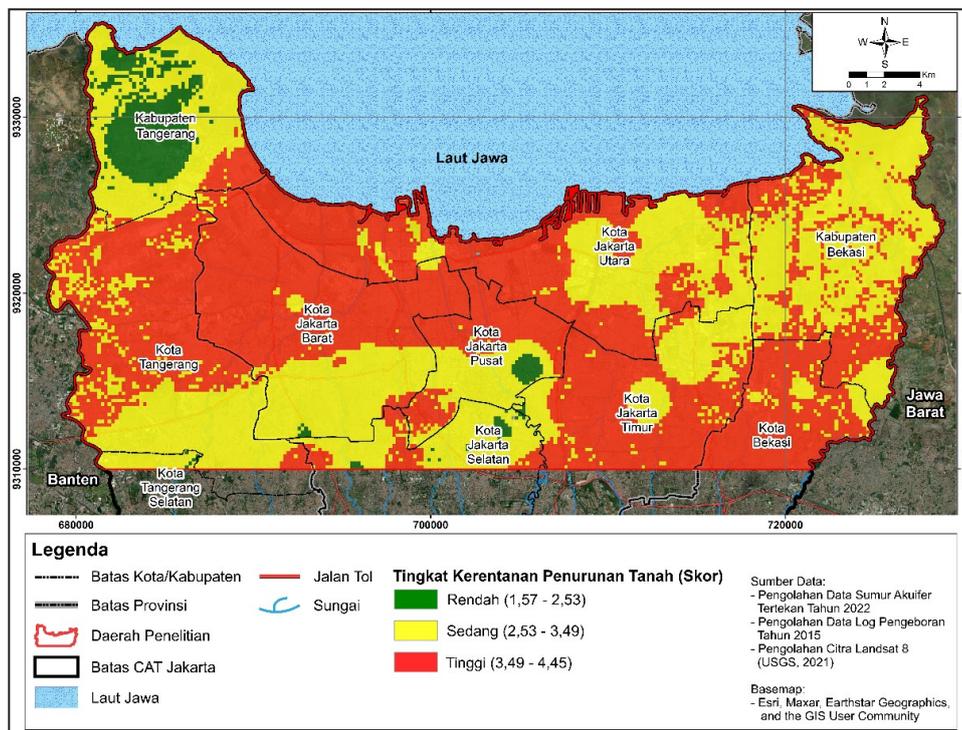
tanah hasil pengolahan yang menyebutkan bahwa wilayah Jakarta Barat termasuk kedalam tingkat kerentanan penurunan tanah tinggi. Menurut Marylin (2012), penurunan tanah di daerah Rawa Buaya, Jakarta Barat terjadi akibat konsolidasi alami lapisan sedimen (65%) dan penurunan muka air tanah (19%). Sisa 16% lainnya merupakan efek gabungan dari beban bangunan di permukaan dan kemungkinan pengaruh tektonisme. Selain itu, Marylin (2012) juga menyebutkan bahwa tekanan akibat air tanah (*hydro-compaction*) menjadi faktor penurunan tanah yang umum terjadi pada endapan yang kaya material organik.

Pada wilayah Kabupaten Tangerang terdapat nilai penurunan tanah yang terjadi sebesar -11 hingga (-35) cm, namun pada peta zonasi kerentanan hasil pengolahan terlihat tingkat kerentanan yang rendah – sedang. Hal tersebut diindikasikan karena keterbatasan data log pengeboran pada wilayah Kabupaten Tangerang yang hanya satu titik pengeboran, sehingga nilai sebaran lapisan tebal lempung mengacu pada satu titik tersebut saja. Jika dilihat pada wilayah

Analisis Tingkat Kerentanan terhadap Penurunan Tanah (Land Subsidence berdasarkan Kondisi Hidrogeologi dan Mitigasinya di Daerah Pesisir Cekungan Air Tanah Jakarta



Gambar 9. Peta skor parameter tata guna lahan.



Gambar 10. Peta kerentanan penurunan tanah daerah pesisir CAT Jakarta.

yang lain, terdapat beberapa titik pengeboran yang bisa menjadikan sebaran nilainya lebih rinci dan valid.

Berdasarkan hasil peta kerentanan penurunan tanah yang telah dibuat (Gambar 12b), dapat diketahui memiliki hasil yang cocok dengan

Tabel 8. Klasifikasi tingkat kerentanan penurunan tanah di pesisir CAT Jakarta

Tingkat kerentanan	Skor
Rendah	1,57 – 2,53
Sedang	2,53 – 3,49
Tinggi	3,49 – 4,45

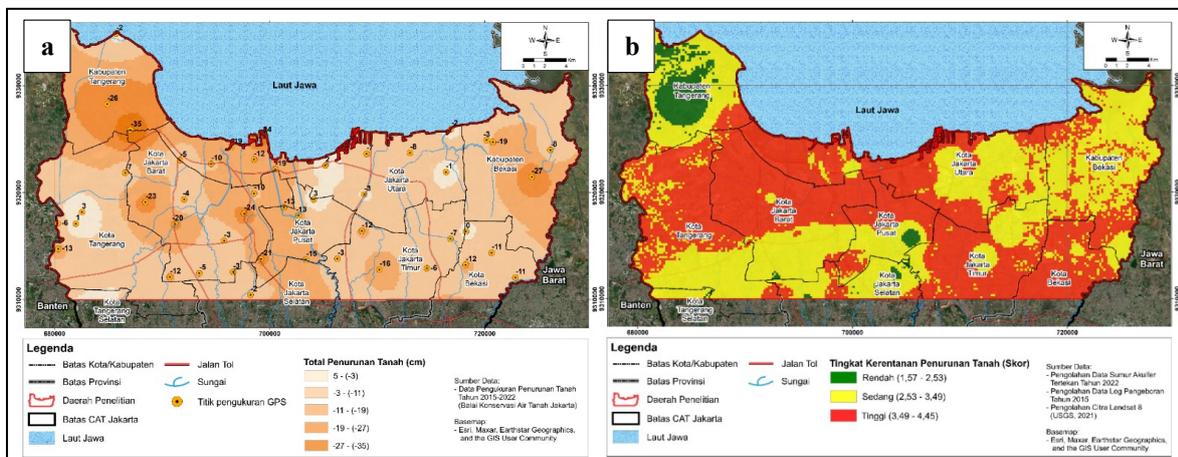
laju penurunan tanah pada penelitian yang dilakukan oleh Taftazani dr. (2021) (Gambar 12a). Pada wilayah Jakarta Utara (kotak biru tua dan biru muda) diketahui memiliki nilai kerentanan tinggi yang ditunjukkan dengan warna merah. Berdasarkan data pengukuran pada penelitian Taftazani dr. (Gambar 11a), dapat diketahui bahwa pada daerah tersebut juga memiliki laju penurunan tanah yang cukup tinggi, yaitu sebesar 4 – 8 cm/tahun.

Pada peta kerentanan penurunan tanah hasil pengolahan (Gambar 13b), wilayah Jakarta Utara termasuk kedalam zona kerentanan tinggi. Hal tersebut dibuktikan pada penelitian Ng dr. (2012) dimana pada daerah tersebut terjadi penurunan tanah yang cukup besar, yaitu berkisar 10 – 26 cm/tahun (Gambar 13a). Pada daerah Jakarta Barat juga dapat diketahui memiliki nilai penurunan tanah berkisar 6,5 – 26 cm/tahun, dimana hal tersebut sesuai dengan peta kerentanan penurunan tanah hasil pengolahan yang menunjukkan bahwa daerah tersebut termasuk kedalam zona kerentanan tingkat tinggi.

Penurunan tanah yang cepat dipengaruhi oleh sebaran litologi daerah penelitian, di mana daerah dengan ketebalan lempung-lempung pasiran

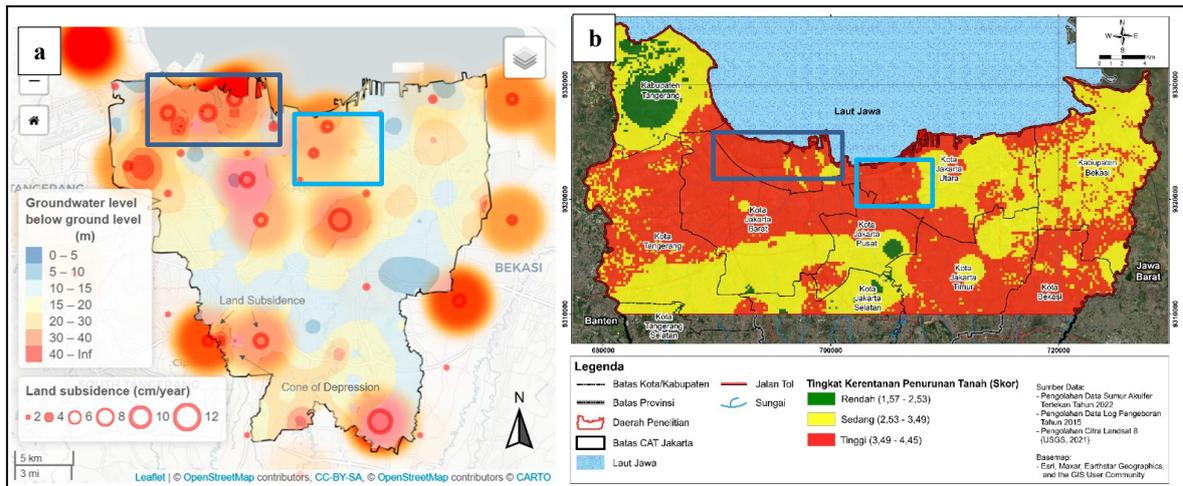
Tabel 9. Matriks kerentanan penurunan tanah daerah pesisir CAT Jakarta

Kerentanan	Rendah (1,57 – 2,53)	Sedang (2,53 – 3,49)	Tinggi (3,49 – 4,45)
<b>Parameter</b>			
<b>Tebal Lempung</b>	40-80 m, 80-120 m	40-80 m, 80-120 m, 120-160 m	80-120 m, 120-160 m, 160-200 m
<b>Kedalaman Muka Air Tanah Tertekan</b>	<12,7 m, 12,7 – 18,32 m.	<12,7 m, 12,7-18,32 m, 18,32-23,09 m	<12,7 m, 12,7-18,32 m, 18,32-23,09 m, 23,09-31,23 m, >31,23 m
<b>Tata Guna Lahan</b>	Tubuh air alami dan buatan, vegetasi alami dan tanaman budidaya menetap, sawah, pemukiman dan bangunan bukan pemukiman	Tubuh air alami dan buatan, vegetasi alami dan tanaman budidaya menetap, sawah, lahan terbuka	Vegetasi alami dan tanaman budidaya menetap, sawah, lahan terbuka, pemukiman dan bangunan bukan pemukiman
<b>Luas area (km<sup>2</sup>)</b>	31,5	356,7	413
<b>Luas area (%)</b>	3,9	44,5	51,5

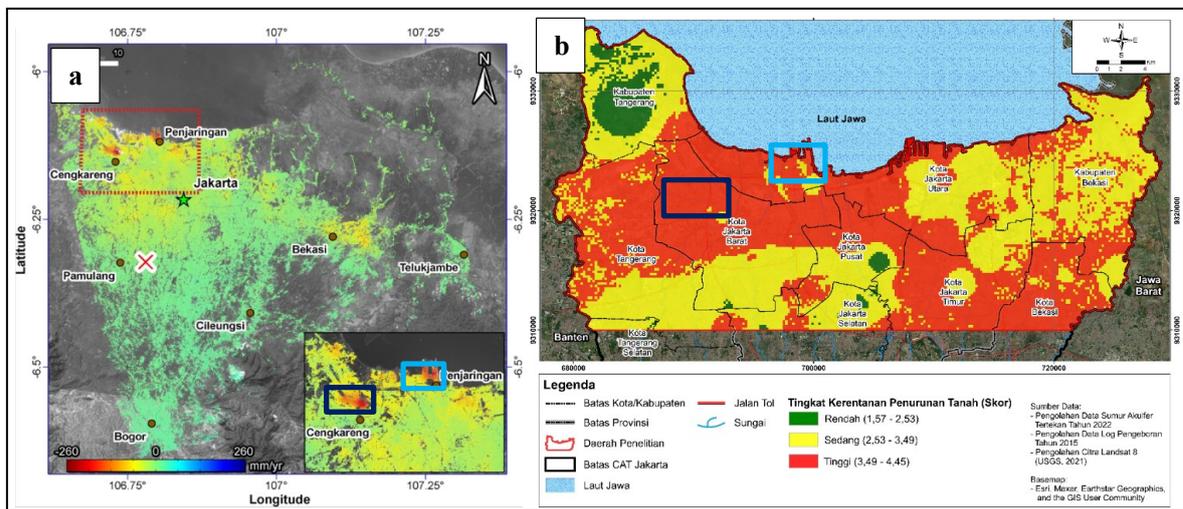


Gambar 11. Peta penurunan tanah (a) dan peta tingkat kerentanan penurunan tanah (b) daerah pesisir CAT Jakarta.

Analisis Tingkat Kerentanan terhadap Penurunan Tanah (Land Subsidence berdasarkan Kondisi Hidrogeologi dan Mitigasinya di Daerah Pesisir Cekungan Air Tanah Jakarta



Gambar 12. Korelasi kejadian penurunan tanah di Jakarta (Taftazani drr, 2021) (a) dengan peta tingkat kerentanan bencana (b).



Gambar 13. Pengukuran kejadian penurunan tanah metode PSI (Ng dr, 2012) (a) dan peta tingkat kerentanan bencana (b).

yang besar akan semakin berpotensi untuk terjadi proses kompaksi akibat hilangnya volume pori dalam batuan. Hal tersebut dipengaruhi oleh sifat lapisan lempung yang bersifat kohesif dan plastis, di mana memiliki karakteristik yang dapat mengalami penyusutan dan pengembangan (*swelling*). Semakin tebal ketebalan lempung kompresibel, maka kejadian penurunan tanah juga akan semakin besar dampaknya karena banyaknya lapisan lempung-lempung pasiran yang memadat dibandingkan dengan lapisan pasir.

Beberapa tantangan dan permasalahan terkait penurunan tanah, khususnya di daerah pesisir CAT Jakarta, adalah sebagai berikut; Karakteristik bawah permukaan masih cukup terbatas;

Monitoring besar dan laju penurunan tanah belum maksimal dan merata; Kurangnya informasi terkait penelitian tentang penurunan tanah terhadap beberapa pihak.

Berdasarkan analisis di atas, penulis merekomendasikan beberapa upaya mitigasi terhadap peristiwa penurunan tanah di daerah pesisir CAT Jakarta yaitu Pemantauan kondisi air tanah dan pemantauan penurunan muka tanah jangka panjang; Pemantauan kondisi air tanah bertujuan untuk mengawasi perubahan kedalaman muka air tanah dan mengontrol perhitungan debit pengambilan/penggunaan air tanah. Pemantauan yang efektif melalui teknik penginderaan jauh dan pengukuran lapangan untuk menghasilkan

peta risiko bencana dapat membantu untuk mengelola dan mengontrol penurunan tanah secara efisien; Investigasi dan pembaharuan data hidrogeologi dan geologi teknik bawah permukaan.; Mempersiapkan inventarisasi pemetaan geologi berskala nasional dan pengembangan peta risiko bencana sangat membantu untuk mengurangi resiko penurunan tanah. Pembaharuan data hidrogeologi dan geologi dapat dilakukan dengan berbagai metode, seperti pengukuran geolistrik dan pengeboran. Data tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis batuan penyusun.; Penggunaan data penelitian sebagai pertimbangan dalam penentuan kebijakan administratif.

Beberapa cara administrasi dapat direncanakan seperti pembuatan regulasi untuk mengontrol pengambilan air tanah, menerapkan kebijakan pajak untuk pemompaan air tanah, penegakan hukum air tanah yang ketat, serta melaksanakan proyek untuk imbuhan air tanah buatan (*artificial recharge*) dan pemulihan penyimpanan akuifer. Selain itu, membagikan informasi melalui webinar, database, dan sosialisasi dapat meningkatkan pemahaman tentang proses penurunan tanah. Kombinasi antara pemahaman ilmiah dan pengelolaan sumber daya air tanah yang berkelanjutan dapat meminimalisir bahaya penurunan tanah.

## KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa daerah dengan kerawanan penurunan tanah tingkat tinggi tersebar di bagian tengah, utara, dan tenggara daerah penelitian, tepatnya berada di wilayah Jakarta Utara, Jakarta Timur, Kota Bekasi, serta sebagian wilayah Jakarta Barat, Kota Tangerang, dan Jakarta Pusat. Upaya mitigasi yang dapat direkomendasikan adalah dengan melakukan pemantauan kondisi air tanah dan penurunan tanah secara berkala; pembaharuan data hidrogeologi dan geologi teknik bawah permukaan; dan penggunaan data penelitian sebagai pertimbangan dalam kebijakan administratif, seperti pembuatan sumur injeksi dan peta konservasi air tanah.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini, khususnya kepada Balai Konservasi Air Tanah Jakarta yang telah menyediakan data dan mengizinkan penulis untuk menganalisis data terkait penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z., Andreas, H., Gumilar, I., Fukuda, Y., Pohan, Y. E., & Deguchi, T., 2011. *Land subsidence of Jakarta (Indonesia) and its relation with urban development. Natural hazards*, 59, 1753-1771.
- Arabameri, A., Pal, S. C., Rezaie, F., Chakraborty, R., Chowdhuri, I., Blaschke, T., & Ngo, P. T. T., 2021. *Comparison of multi-criteria and artificial intelligence models for land-subsidence susceptibility zonation. Journal of Environmental Management*, 284, 112067.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2016. *Resiko Bencana Indonesia*. Jakarta, Badan Nasional Penanggulangan Bencana
- Badan Standarisasi Nasional. (2014). *Standar Nasional Indonesia 7645-1:2014, Klasifikasi penutup lahan – Bagian 1:Skala kecil dan menengah*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Bagheri-Gavkosh, M., Hosseini, S. M., Ataie-Ashtiani, B., Sohani, Y., Ebrahimian, H., Morovat, F., & Ashrafi, S., 2021. *Land subsidence: A global challenge. Science of The Total Environment*, 778, 146-193.
- Fakhrudin, M. N. W., Muslim, D., Zakaria, Z., & Pramudyo, T., 2021. *Fenomena Amblesan Lahan Akibat Beban Infrastruktur (Studi Kasus Desa Kaligawe Dan Sekitarnya, Kecamatan Gayamsari, Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah)*. *Geoscience Journal*, 5(5), 498-506
- Hakim, W. L., Achmad, A. R., & Lee, C. W., 2020. *Land subsidence susceptibility mapping in jakarta using functional and meta-ensemble machine learning algorithm*

- based on time-series InSAR data. Remote Sensing*, 12(21), 3627.
- Hu, B., Wang, J., Chen, Z., Wang, D. and Xu, S., 2009. *Risk Assessment of Land Subsidence at Tianjin Coastal Area in China. Environmental Earth Sciences*, 59, 269-276.
- Kwesi, E. A. A., Asamoah, K. N., & Akuinor, B. T., 2023. *Mapping of Land Subsidence Vulnerability-A Case Study at the Prestea Huni Valley Municipality of Ghana. Ghana Journal of Technology*, 7(1), 1-10.
- Marylin, N., 2012. *Studi penurunan tanah di Rawa Buaya, Jakarta Barat*. Institut Teknologi Bandung.
- Ng, A. H. M., Ge, L., Li, X., Abidin, H. Z., Andreas, H., & Zhang, K., 2012. *Mapping land subsidence in Jakarta, Indonesia using persistent scatterer interferometry (PSI) technique with ALOS PALSAR. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18, 232-242.
- Pranantya, P. A., Sukiyah, E., & Utomo, E. P., 2017. *Modelling for groundwater extraction effect for Jakarta land subsidence, International Journal of Science and Research*, 6(8), 184-190.
- Rao, N. S., Gugulothu, S., & Das, R., 2022. *Deciphering artificial groundwater recharge suitability zones in the agricultural area of a river basin in Andhra Pradesh, India using geospatial techniques and analytical hierarchical process method. Catena*, 212, 106085.
- Rezaei, M., Yazdani Noori, Z., & Dashti Barmaki, M., 2022. *Land subsidence susceptibility mapping using Analytical Hierarchy Process (AHP) and Certain Factor (CF) models at Neyshabur plain, Iran. Geocarto International*, 37(5), 1465-1481.
- Sarah, D., 2022. *Land subsidence hazard in Indonesia: Present research and challenges ahead. Riset Geologi dan Pertambangan-Geology and Mining Research*, 32(2), pp.83-100.
- Sarah, D., Hutasoit, L. M., Delinom, R. M., Sadisun, I. A., & Wirabuana, T., 2018. *A physical study of the effect of groundwater salinity on the compressibility of the Semarang-Demak Aquitard, Java Island. Geosciences*, 8(4), 130.
- Sarah, D., & Soebowo, E., 2018. *Land subsidence threats and its management in the North Coast of Java. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 118, No. 1, p. 012042)*. IOP Publishing
- Saaty, R. W., 1987. *The analytic hierarchy process: what it is and how it is used. Mathematical modelling*, 9(3-5), 161-176.
- Taftazani, R., Kazama, S., & Takizawa, S., 2022. *Spatial Analysis of Groundwater Abstraction and Land Subsidence for Planning the Piped Water Supply in Jakarta, Indonesia, Water*, 14(20), 3197.
- Wismarini, D., & Anis, Y., 2014. *Metode Klasifikasi Spasial sebagai Pendukung Informasi Kelas pada Data Indikator Banjir. Dinamik*, 19(2).