

# Penilaian Spasial Kerentanan Air Tanah dengan Model DRASTIC untuk Mitigasi Risiko Pencemaran di Cekungan Air Tanah Jakarta

Fikri Noor Azy<sup>1\*</sup>, Dwi Nowo Martono<sup>1</sup>, dan Haruki Agustina<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Magister Ilmu Lingkungan, Sekolah Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia, Jakarta Indonesia; e-mail: [fikrinoorazy@gmail.com](mailto:fikrinoorazy@gmail.com)

<sup>2</sup>Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Jakarta, Indonesia

## ABSTRAK

Di wilayah perkotaan dengan kepadatan tinggi seperti Jakarta dan sekitarnya, proses urbanisasi dan pertumbuhan industri yang pesat telah menyebabkan pengambilan air tanah secara berlebihan serta penurunan kualitasnya. Berbagai polutan seperti nitrat, hidrokarbon dari minyak bumi, mikroba, dan bahan kimia beracun kini mengancam akuifer dan persediaan air bersih. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan penilaian spasial terhadap tingkat kerentanan intrinsik air tanah di Cekungan Air Tanah Jakarta dengan menggunakan model DRASTIC dan Sistem Informasi Geografis (SIG). Analisis dilakukan berdasarkan tujuh parameter utama hidrogeologi, yaitu kedalaman muka air tanah (D), imbuhan air (R), jenis akuifer (A), jenis tanah (S), topografi kemiringan lereng (T), pengaruh zona tak jenuh (I), dan konduktivitas hidraulik (C). Hasil analisis menghasilkan peta kerentanan yang mengelompokkan wilayah studi ke dalam empat kategori, yakni sangat rendah (0-2), rendah (3-5), sedang (6-8), dan tinggi (9-10). Wilayah dengan tingkat kerentanan tinggi berada di bagian utara Jakarta seperti Kabupaten Tangerang, Jakarta Utara, dan sebagian Kota Bekasi, yang ditandai oleh kedalaman air tanah yang dangkal (hingga 0,15 meter) dan tingkat imbuhan air tanah yang tinggi (hingga 2.000 mm/tahun). Sementara itu, wilayah dengan tingkat kerentanan rendah terletak di Jakarta pusat dan di bagian selatan Jakarta seperti Jakarta Selatan, Depok, dan Tangerang Selatan, yang memiliki kedalaman air tanah lebih dari 30-meter serta tanah dengan porositas rendah. Temuan ini memberi gambaran akan perlunya pengelolaan air tanah yang baik, terutama di wilayah dengan laju urbanisasi yang tinggi. Studi ini diharapkan dapat menjadi dasar mitigasi kerentanan pencemaran di wilayah berisiko tinggi, khususnya untuk perencanaan tata ruang kota

**Kata kunci:** kerentanan air tanah, model DRASTIC, hidrogeologi, Cekungan Air Tanah Jakarta, risiko pencemaran

## ABSTRACT

In highly populated urban regions such as Jakarta and its surroundings, rapid urbanization and industrial growth have caused groundwater over-extraction and quality degradation. Pollutants like nitrates, petroleum hydrocarbons, microbes, and toxic chemicals now threaten aquifers and water supplies. This study is to carry out a spatial assessment of the intrinsic vulnerability of groundwater in the Jakarta Groundwater Basin using the DRASTIC model and a Geographic Information System (GIS). The analysis was conducted according to seven main hydrogeological parameters, namely groundwater table depth (D), net recharge (R), aquifer media (A), soil media (S), topography slope (T), impact of vadose zone (I), and hydraulic conductivity (C). The results of the analysis provide a map of vulnerability that categorizes the study area into four categories, which include very low (0-2), low (3-5), moderate (6-8), and high (9-10). High-vulnerability areas are the northern part of Jakarta such as Tangerang Regency, North Jakarta, and parts of Bekasi City, which are characterized by shallow groundwater (to a depth of 0.15 meters) and high groundwater recharge (to 2,000 mm/year). Whereas areas of low vulnerability are in central Jakarta and the south parts of Jakarta such as South Jakarta, Depok, and South Tangerang with deep groundwater (above 30 meters) and poor-porosity soils. All these findings support the necessity to have good groundwater management, especially in fast-urbanizing area. This study is expected to form the basis of the mitigation of pollution vulnerability in at high-risk areas, especially for city spatial planning.

**Keywords:** groundwater vulnerability, DRASTIC model, hydrogeology, Jakarta Groundwater Basin, pollution risk

**Citation:** Azy, F. N., Martono, D. N., dan Agustina, H. (2025). Penilaian Spasial Kerentanan Air Tanah Intrinsik dengan Model DRASTIC untuk Mitigasi Risiko Pencemaran di Cekungan Air Tanah Jakarta. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 23(4), 1013-1022, doi:10.14710/jil.23.4.1013-1022

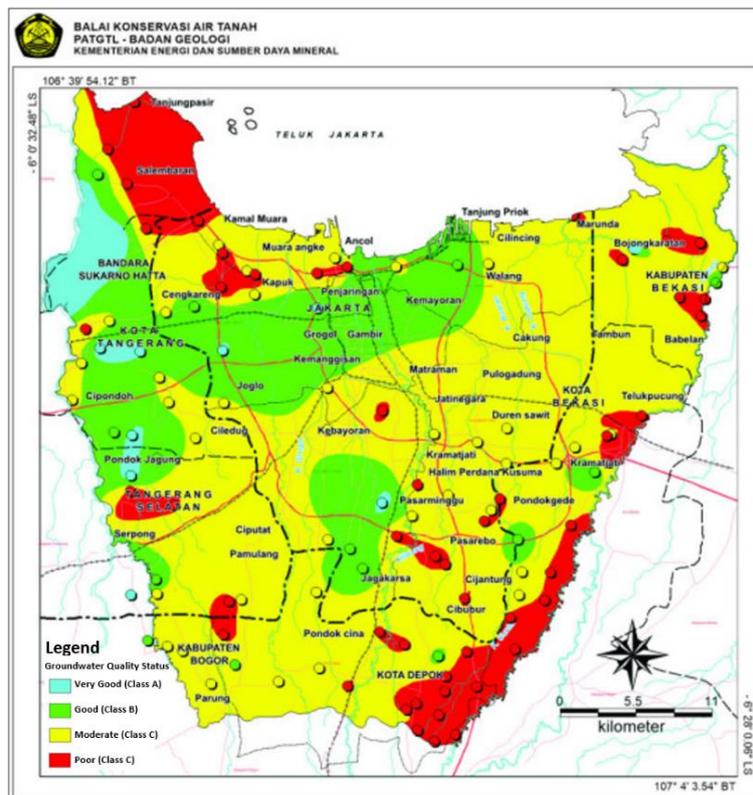
**1. PENDAHULUAN**

Air tanah adalah sumber daya penting di Bumi, yang berfungsi sebagai sumber air untuk minum, irigasi pertanian, keperluan industri, dan dalam pemeliharaan berbagai ekosistem. Sekitar 30% air tawar yang dapat diakses di Bumi adalah air tanah, yang memegang peran utama dalam sumber air untuk minum, irigasi, dan keperluan industri (Frappart and Merwade, 2022). Di daerah metropolitan yang padat penduduknya, seperti Jakarta dan sekitarnya, proses urbanisasi dan pembangunan industri yang cepat telah menyebabkan ekstraksi air tanah yang berlebihan, yang diikuti dengan penurunan kualitasnya. Banyak polutan, seperti nitrat, hidrokarbon minyak bumi, mikroba, dan zat berbahaya lainnya, meresap ke dalam sistem akuifer, sehingga menimbulkan risiko yang signifikan terhadap pasokan air (Nursyriwan et al., 2019; Luo et al., 2019). Sebuah evaluasi kontemporer terhadap Cekungan Air Tanah Jakarta (CAT Jakarta) mengungkapkan tingkat kontaminasi. Analisis dengan menggunakan STORET menunjukkan (Gambar. 1) bahwa hanya 13,3% dari lokasi pengambilan sampel di dalam akuifer tak tertekan yang memenuhi standar kualitas air yang dapat diterima, sedangkan 24,6% dikategorikan sangat tercemar (Prayogi et al., 2022). Masalah serupa muncul pada akuifer tertekan yang lebih dalam, di mana 32,5% lokasi diidentifikasi menunjukkan tingkat kontaminasi yang sangat tinggi (Prayogi et al., 2022).

Model DRASTIC yang dikembangkan oleh Aller dkk., (1987), di bawah naungan *Environmental*

*Protection Agency* (USEPA) dan *National Water Well Association* (NWWA), mungkin merupakan model yang paling banyak digunakan di dunia karena penilaian yang komprehensif dapat disintesis dari beberapa parameter untuk pengambilan keputusan. Model DRASTIC menilai kerentanan air tanah terhadap pencemaran berdasarkan tujuh parameter hidrogeologi yaitu Kedalaman Muka Air Tanah (D), Imbuhan Air/Pengisian Ulang Air Tanah (R), Jenis Akuifer (A), Jenis Tanah (S), Topografi Kemiringan Lereng (T), Pengaruh Zona Tak Jenuh (I), dan Konduktivitas Hidraulik (C).

Hal ini merupakan kelebihan dari metode DRASTIC yang membuatnya cukup sederhana untuk memberikan gambaran kerentanan air tanah di suatu daerah secara terpadu, karena metode ini sangat cocok untuk daerah yang memiliki data hidrogeologi yang langka (Jafari and Nikoo, 2016; Ghazavi and Ebrahimi, 2015). Pendekatan penilaian kerentanan air tanah saat ini telah dikembangkan dengan menggunakan empat metode utama: metode overlay dan indeks, pendekatan statistik, penilaian berbasis model, dan teknik hibrida yang menggabungkan metode-metode tersebut untuk mendapatkan akurasi yang lebih tinggi (Boufekane et al., 2022). Integrasi dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) meningkatkan hal ini lebih jauh dalam DRASTIC dengan memungkinkan analisis spasial yang terperinci dan tampilan dalam pembuatan peta kerentanan (Männik et al., 2022).



**Gambar 1.** Peta Kualitas Air Tanah Unrestricted di CAT Jakarta 2019 (Prayogi et al., 2022).

Model DRASTIC telah diterapkan di berbagai belahan dunia, termasuk Kanada, Amerika Serikat, Afrika Selatan, dan Timur Tengah, yang membuktikan kegunaannya dalam menilai risiko pencemaran air tanah (Jafari and Nikoo, 2016). Cekungan Air Tanah Jakarta saat ini berada di bawah tekanan lingkungan yang sangat besar akibat penyedotan air tanah yang berlebihan yang menyebabkan penurunan permukaan tanah serta penurunan kualitas dan kuantitas air tanah (Nugraha et al., 2021; Delinom et al., 2015). Penelitian ini menggunakan model DRASTIC untuk mengevaluasi kerentanan intrinsik air tanah di wilayah CAT Jakarta karena model ini menyediakan data spasial yang penting mengenai potensi bahaya pencemaran air tanah dan memainkan peran penting dalam mengembangkan langkah-langkah pengelolaan dan perlindungan yang efektif untuk sumber daya air tanah (Männik et al., 2022).

## 2. LOKASI PENELITIAN

Wilayah studi adalah Cekungan Air Tanah Jakarta (CAT Jakarta) yang terletak pada koordinat  $106^{\circ}36'32.54''$  -  $107^{\circ}4'4.78''$  Bujur Timur dan  $-6^{\circ}0'43.50''$  -  $-6^{\circ}26'58.23''$  Lintang Timur. Wilayah studi mencakup seluruh Provinsi DKI Jakarta dan sebagian Provinsi Banten dan Jawa Barat dengan luas wilayah  $1.439 \text{ km}^2$ . Secara administratif, wilayah studi mencakup sembilan kota dan tiga kabupaten, yaitu Kabupaten Tangerang, Kota Tangerang, Kota Tangerang Selatan, Kota Depok, Jakarta Barat, Jakarta Utara, Jakarta Selatan, Jakarta Timur, Jakarta Pusat, Kota Bekasi, dan Kabupaten Bekasi (Ministry of Energy and Mineral Resources, 2017). Sebagai bagian dari wilayah metropolitan Jabodetabek dengan jumlah penduduk lebih dari 31,24 juta jiwa, wilayah ini merupakan wilayah yang sangat penting bagi perkembangan ekonomi dan perkotaan di Indonesia.

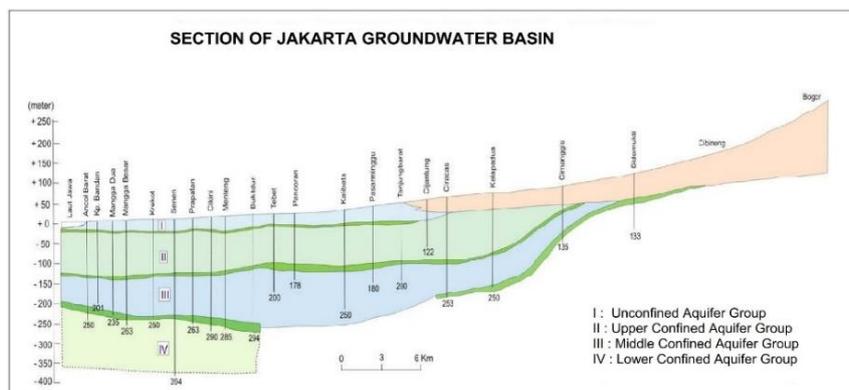
Urbanisasi dan industrialisasi yang cepat telah memberikan tekanan yang signifikan terhadap pasokan air tanah, yang menyebabkan masalah serius seperti penurunan permukaan tanah, banjir, dan intrusi air laut—yang semuanya menimbulkan risiko terhadap pasokan air di wilayah tersebut (Nur and Ruswandi, 2022). Pengambilan air tanah yang berlebihan di Jakarta telah menyebabkan penurunan

muka air tanah yang drastis, dengan beberapa daerah mencatat penurunan sebesar 10 meter antara tahun 1985 dan 2008. Di beberapa lokasi, permukaan air tanah telah turun dari -15 meter menjadi -25 meter (Lubis, 2018). Ekstraksi ekstrem ini secara signifikan terkait dengan penurunan permukaan tanah, yang bervariasi di seluruh wilayah. Tingkat penurunan permukaan tanah bervariasi antara 1 hingga 15 cm/tahun; tingkat 20 hingga 25 cm/tahun juga tercatat di beberapa daerah (Lubis, 2018).

CAT Jakarta merupakan cekungan geologis yang kompleks yang dibentuk oleh formasi-formasi yang membantu atau menghambat aliran air tanah. Cekungan ini dibatasi di sebelah barat dan selatan oleh struktur geologi utama seperti Sesar Cidurian dan Antiklinorium Bogor. Penelitian lebih lanjut diperlukan pada batas timurnya, yang diasumsikan sebagai sesar normal yang terhubung dengan pengangkatan Rengasdengklok. Di bagian utara, perubahan fasies stratigrafi diperkirakan membatasi distribusi akuifer (Delinom et al., 2015).

Dua zona akuifer utama dibedakan: akuifer yang sangat produktif, di mana ditemukan muka air tanah yang dangkal dan hasil sumur yang tinggi  $>5$  liter per detik (l/dtk), dan akuifer yang cukup produktif, di mana transmisivitasnya lebih rendah dan hasil sumurnya  $<5$  l/dtk. Klasifikasi ini sangat penting untuk memahami kondisi hidrogeologi dan menerapkan pengelolaan air tanah yang tepat (Haryadi and Taat, 2013).

Pemetaan penyebaran akuifer secara horizontal menunjukkan fitur-fitur utama (Gambar 2): a) Sistem akuifer tak tertekan berkisar antara kurang dari 35 mbpt (meter di bawah permukaan tanah) di daerah pesisir hingga lebih dari 55 mbpt di bagian selatan; b) Akuifer semi-tak tertekan bagian atas dimulai dari 130 mbpt di dekat pesisir dan meningkat hingga 50 mbpt di bagian selatan; c) Akuifer semi-tak tertekan bagian tengah berada di antara 240 mbpt di cekungan bagian tengah dan 40 mbpt di bagian selatan; d) Akuifer semi-tak tertekan bagian bawah memiliki kedalaman lebih dari 300 mbpt. Daerah ini juga terdiri dari endapan vulkanik Kuartar seperti Formasi Citalang, Kaliwangu, dan Parigi (Deltares et al., 2011; Lubis, 2018; Nugraha et al., 2021).



Gambar 2. Cekungan Penampang Air Tanah (Deltares dkk., 2011)

**3. METODE PENELITIAN**

Istilah “kerentanan air tanah” pertama kali diperkenalkan oleh Margat pada tahun 1960-an untuk menggambarkan probabilitas kontaminasi mencapai air tanah. Konsep ini membedakan antara kerentanan intrinsik, yang dipengaruhi oleh kondisi alamiah seperti karakteristik akuifer, dan kerentanan spesifik yang berkaitan dengan keberadaan dan distribusi sumber polutan (Margat, 1968 dalam Wei et al., 2021). DRASTIC merupakan metode indeks overlay yang menyediakan pendekatan praktis dengan mengintegrasikan data geologi, hidrologi, dan pedologi untuk menghasilkan peta kerentanan. Peta ini menjadi alat penting dalam perencanaan dan pengelolaan sumber daya air tanah. Selain itu, model DRASTIC juga kerap diaplikasikan bersama metode lain seperti GOD, AVI, PRAST, dan SINTACS untuk memberikan penilaian kerentanan air tanah di berbagai wilayah di dunia (Boufekane et al., 2022).

**3.1. Metode DRASTIC**

Model DRASTIC menghasilkan indeks numerik yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat kerentanan air tanah terhadap kontaminasi. Nilai indeks ini kemudian digunakan untuk menghasilkan peta kerentanan yang memvisualisasikan wilayah-wilayah dengan potensi risiko kontaminasi yang lebih tinggi. Model ini menggabungkan tujuh parameter hidrogeologi utama, di mana masing-masing parameter diberikan skor dan bobot berdasarkan kontribusinya terhadap kerentanan sistem akuifer. Skema penilaian dan pembobotan dari parameter-parameter ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Setelah setiap parameter diberi peringkat dan bobot, data tersebut digabungkan dengan menggunakan analisis *overlay* berbasis SIG untuk menghasilkan peta kerentanan air tanah yang komprehensif untuk CAT Jakarta. Indeks akhir dari model DRASTIC dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\begin{aligned}
 \text{DRASTIC Index} = & (D_w \times D_r) + (R_w \times R_r) \\
 & + (A_w \times A_r) + (S_w \times S_r) \\
 & + (T_w \times T_r) + (I_w \times I_r) \\
 & + (C_w \times C_r)
 \end{aligned}$$

Dimana:

- Dw, Rw, Aw, Sw, Tw, Iw, Cw adalah bobot masing-masing untuk setiap parameter.
- Dr, Rr, Ar, Sr, Tr, Ir, Cr adalah peringkat masing-masing untuk setiap parameter.

**Tabel 1.** Parameter DRASTIC dengan Bobot dan Peringkat

Parameter	Satuan	Bobot	Peringkat
(D) Kedalaman Air Tanah (m)	meter	5	1-10
(R) Imbuan Air	milimeter	4	1-9
(A) Jenis Akuifer	-	3	1-10
(S) Jenis Tanah	-	2	1-10
(T) Topografi kemiringan lereng	%	1	1-10
(I) Zona Tak Jenuh	-	5	1-10
(C) Konduktivitas Hidrolik	meter/hari	3	1-10

Sumber: Aller et al., 1987; Neshat et al., 2014

**3.2. Pengumpulan Data**

Data untuk parameter DRASTIC diperoleh dari berbagai sumber yang dapat dipercaya. Sumber data tersebut meliputi data hidrologi, geologi, sumur air tanah, topografi, dan meteorologi yang diperoleh dari lembaga nasional seperti Balai Konservasi Air Tanah (BKAT), Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan (PAG), ESDM, dan Pusat Litbang Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) dan lembaga internasional seperti *Earth Observation Center (EOC) German*, dan *Food and Agriculture Organization (FAO) United Nation*. SIG digunakan untuk pemetaan dan analisis spasial; hal ini membantu dalam melapisi beberapa titik data yang membantu dalam menentukan lokasi dengan tingkat kerentanan yang berbeda terkait air tanah. Tabel 2 menyajikan rincian sumber data, rincian parameter, dan dampaknya terhadap kerentanan air tanah dalam kerangka kerja model DRASTIC.

**Tabel 2.** DRASTIC dengan Sumber Data, Detail, dan Dampak Kerentanan

Sumber Data Parameter	Detail	Dampak terhadap Kerentanan
D: BKAT, ESDM (Sumber: sipasti.co.id)	Kedalaman muka air tanah yang diukur di berbagai titik di Jakarta.	Kedalaman yang dangkal meningkatkan kerentanan karena polutan lebih cepat mencapai akuifer.
R: Pusat Litbang Sumber Daya Air, Kementerian PUPR (Sumber: Seizarwati, et al, 2017)	Curah hujan dan laju imbuan air tanah, dihitung dengan metode neraca air.	Imbuan yang lebih tinggi meningkatkan kerentanan karena mempercepat masuknya polutan ke akuifer.
A: PAG, ESDM (Sumber: geoportal.esdm.go.id)	Peta geologi dan hidrogeologi yang merinci material akuifer (pasir, kerikil, lempung, dll.).	Material akuifer yang lebih permeabel meningkatkan kerentanan karena polutan lebih mudah menyebar.
S: Peta Tanah Dunia FAO/UNESCO (Sumber: fao.org)	Jenis tanah yang mempengaruhi filtrasi dan adsorpsi polutan.	Tanah dengan permeabilitas rendah lebih melindungi terhadap kontaminasi.
T: Model Elevasi Digital (DEM) dari TanDEM-X (Sumber: EOC download.geoservice.dlr.de/TDM90/)	Data kemiringan lereng yang mempengaruhi aliran permukaan dan infiltrasi.	Lereng yang lebih curam mengurangi kerentanan karena menurunkan potensi infiltrasi.
I: PAG, ESDM (Sumber: geoportal.esdm.go.id)	Litologi zona tak jenuh yang mempengaruhi pergerakan polutan.	Zona tak jenuh yang lebih tebal memberikan perlindungan yang lebih baik terhadap kontaminasi.
C: PAG, ESDM (Sumber: geoportal.esdm.go.id)	Data kemampuan material akuifer dalam menghantarkan air.	Konduktivitas yang lebih tinggi meningkatkan kerentanan karena memungkinkan polutan menyebar lebih cepat.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Kedalaman Air Tanah (D)

Berdasarkan data dari BKAT, terdapat 214 sumur pantau yang berlokasi strategis di wilayah Jakarta yang menunjukkan variabilitas yang luas pada muka air tanah. Sumur-sumur pantau ini mencakup berbagai sistem akuifer, seperti akuifer tertekan, semi tertekan, dan tak tertekan. Akuifer tak tertekan, terutama yang berada di Jakarta Utara, lebih rentan karena kurangnya lapisan penahan, sehingga potensi kontaminasi lebih tinggi. Sebaliknya, akuifer tertekan dan semi tertekan yang mendasari daerah-daerah seperti Tangerang Selatan, Jakarta Pusat, dan Jakarta Selatan terlindungi oleh penghalang geologi alami, sehingga tidak terlalu rentan. Distribusi spasial kedalaman air tanah di seluruh wilayah studi ditunjukkan pada Gambar 3a. Kedalaman air tanah berkisar dari yang dangkal hingga 0,15 meter di wilayah pesisir utara hingga lebih dari 38 meter di wilayah selatan. Wilayah utara, khususnya Jakarta Timur Laut dan Barat Laut, serta Jakarta Tenggara, memiliki muka air tanah yang dangkal.

Ditambah dengan kedalaman muka air tanah yang relatif dangkal di daerah-daerah tersebut, memungkinkan kontaminan untuk menyusup dengan cepat. Sebaliknya, permukaan air yang lebih rendah yang ditemukan di Jakarta Pusat, Selatan, dan Barat, serta di Tangerang Selatan dan sebagian Bekasi dan Depok, memungkinkan zona vadose bertindak sebagai filter alami, sehingga mengurangi potensi kontaminasi. Kedalaman air tanah rata-rata di seluruh cekungan adalah sekitar 10,5 meter dengan nilai tengah sekitar 7,5 meter. Variasi kedalaman ini telah diintegrasikan ke dalam sistem penilaian dan pembobotan model DRASTIC untuk menilai kerentanan, seperti yang diuraikan dalam Tabel 3.

### 4.2. Imbuhan Air (R)

Imbuhan air di CAT Jakarta telah mengalami penurunan yang signifikan dari waktu ke waktu. Data historis sejak awal 1900-an menunjukkan bahwa tingkat pengisian ulang berkisar antara 500 hingga 1.500 mm/tahun, dengan wilayah Bekasi dan Depok yang mampu mencapai hingga 2.000 mm/tahun (Seizarwati et al., 2017). Namun, pada periode 1991 hingga 2014, tingkat pengisian ulang ini menurun drastis menjadi kurang dari 250 mm/tahun di sebagian besar wilayah cekungan. Estimasi terbaru menunjukkan bahwa pengisian ulang hanya mencakup 4–20% dari total curah hujan tahunan, dengan rata-rata sebesar 15%.

Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3b, terdapat variasi spasial yang signifikan dalam tingkat imbuhan di seluruh wilayah studi. Wilayah selatan, khususnya Depok dan Tangerang Selatan, berfungsi sebagai zona imbuhan utama dengan potensi pengisian ulang lebih dari 1.000 mm/tahun dan menjadi sumber penting untuk mengisi kembali sistem air tanah regional. Sebaliknya, Jakarta Selatan,

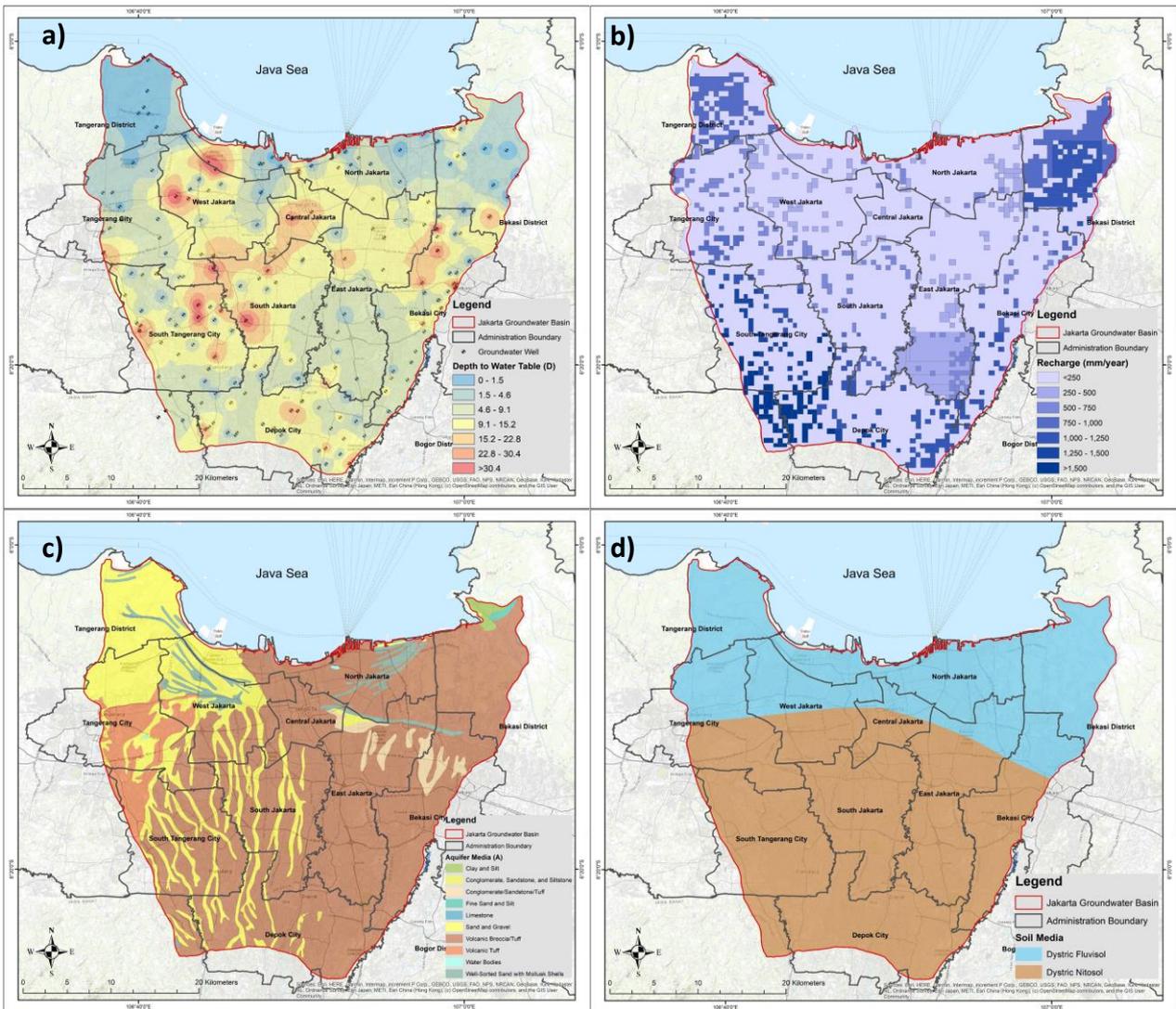
Jakarta Pusat, dan Jakarta Utara memiliki tingkat imbuhan yang lebih rendah, sering kali kurang dari 250 mm/tahun. Penurunan ini sebagian besar disebabkan oleh pesatnya urbanisasi dan peningkatan luas permukaan kedap air yang menghambat infiltrasi air hujan. Sebagian kecil pasokan air tanah masih berasal dari wilayah Puncak, namun sebagian besar imbuhan bergantung pada wilayah dalam cekungan, sehingga menyoroti pentingnya perlindungan terhadap zona imbuhan di selatan, seperti Depok, dari tekanan pembangunan yang berlebihan (Delinom et al., 2015).

Dalam model DRASTIC, tingkat imbuhan diberikan peringkat berdasarkan kontribusinya terhadap kerentanan akuifer. Semakin tinggi tingkat imbuhan, semakin besar potensi kontaminan untuk mencapai akuifer, sehingga mendapatkan peringkat yang lebih tinggi. Di CAT Jakarta, peringkat imbuhan berkisar dari 1 untuk wilayah dengan imbuhan kurang dari 250 mm/tahun hingga 9 untuk wilayah dengan imbuhan lebih dari 1.000 mm/tahun (Aller et al., 1987; Neshat et al., 2014) (Tabel 3).

### 4.3. Jenis Akuifer (A)

Jenis akuifer memainkan peran penting dalam menentukan tingkat kerentanan air tanah, karena berpengaruh terhadap pergerakan kontaminan melalui berbagai formasi geologi. Di CAT Jakarta, media akuifer sangat bervariasi, sehingga mempengaruhi tingkat permeabilitas dan kerentanan air tanah terhadap kontaminasi. Berdasarkan data dari PAG-ESDM, formasi geologi di wilayah studi diklasifikasikan ke dalam beberapa tipe akuifer yang masing-masing memberikan kontribusi berbeda terhadap kerentanan (Gambar 3c). Distribusi media akuifer ini tidak merata; material dengan permeabilitas tinggi seperti pasir dan kerikil dominan di wilayah Jakarta Selatan, Jakarta Barat, Tangerang, dan sebagian Depok. Area tersebut dikategorikan memiliki tingkat kerentanan tinggi, dengan skor DRASTIC sebesar 8, karena memfasilitasi penyebaran kontaminan secara cepat.

Sebaliknya, Jakarta Selatan dan Timur, serta wilayah Bekasi dan Depok, didominasi oleh endapan vulkanik yang, meskipun permeabel, memiliki tingkat kerentanan sedang terhadap transmisi kontaminan. Sementara itu, wilayah Jakarta Utara dan sebagian Jakarta Barat, yang didominasi oleh lempung dan lanau, menunjukkan tingkat kerentanan yang lebih rendah akibat rendahnya permeabilitas material penyusunnya, sehingga memperoleh skor DRASTIC sebesar 3. Nilai kerentanan DRASTIC untuk masing-masing media akuifer dihitung berdasarkan karakteristik litologi (Tabel 3). Secara umum, formasi geologi dengan tingkat permeabilitas lebih tinggi memiliki risiko kontaminasi yang lebih besar, terutama di wilayah dengan tingkat imbuhan air tanah yang signifikan.



Gambar 3. Peta parameter DRASTIC; (a) Kedalaman Air Tanah level, (b) Imbuhan Air, (c) Jenis Akuifer, dan (d) Jenis Tanah

**4.4. Jenis Tanah (S)**

Jenis tanah berperan penting dalam menentukan kerentanan air tanah karena mempengaruhi proses infiltrasi dan kemampuan tanah dalam menahan kontaminan. Berdasarkan Peta Tanah Dunia dari FAO/UNESCO, media tanah di Jakarta didominasi oleh dua jenis utama, yaitu Nitosol Dystric (Nd64-3a) dan Fluvisol Dystric (Jd10-2/3a). Kedua jenis tanah ini mempengaruhi tingkat kerentanan air tanah di wilayah studi, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3d. Tanah Dystric Nitosol yang mencakup sekitar 58,3% wilayah studi, terutama ditemukan di wilayah selatan Jakarta. Jenis tanah lempung Dystric Nitosol ini memiliki tingkat permeabilitas sedang yang mampu menyeimbangkan antara infiltrasi air dan penahanan kontaminan, sehingga wilayah ini memperoleh skor kerentanan sebesar 5 yang mengindikasikan tingkat kerentanan sedang.

Sebaliknya, wilayah utara Jakarta yang mencakup 41,7% wilayah studi didominasi oleh tanah Dystric Fluvisol. Tanah ini memiliki kandungan lempung yang tinggi dan permeabilitas yang rendah, sehingga membatasi pergerakan polutan ke dalam air tanah. Akibatnya, wilayah ini memperoleh peringkat 7, yang

menunjukkan perlindungan lebih tinggi terhadap pencemaran karena kapasitas infiltrasi yang terbatas.

**4.5. Topografi Kemiringan Lereng (T)**

Topografi dan kemiringan lereng sangat mempengaruhi proses imbuhan dan kerentanan air tanah melalui pengaruhnya terhadap limpasan permukaan dan tingkat infiltrasi. Daerah yang lebih datar cenderung memperbesar peluang infiltrasi air ke dalam tanah, sehingga meningkatkan risiko kontaminasi air tanah, sedangkan daerah yang lebih curam mendorong limpasan permukaan yang lebih cepat dan mengurangi laju pengisian ulang air tanah, sehingga menurunkan risiko kontaminasi. Berdasarkan data dari TanDEM-X yang telah diolah menjadi *Digital Terrain Model* (DTM) tanpa mempertanyakan struktur buatan, peta kemiringan terbaru (Gambar 4a) menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah utara dan tengah cekungan didominasi oleh area yang datar dengan kemiringan lereng berkisar antara 0% hingga 2%. Area ini mendapatkan skor kerentanan tertinggi, yaitu 10, karena berisiko tinggi mengalami genangan air permukaan dan peningkatan laju infiltrasi.

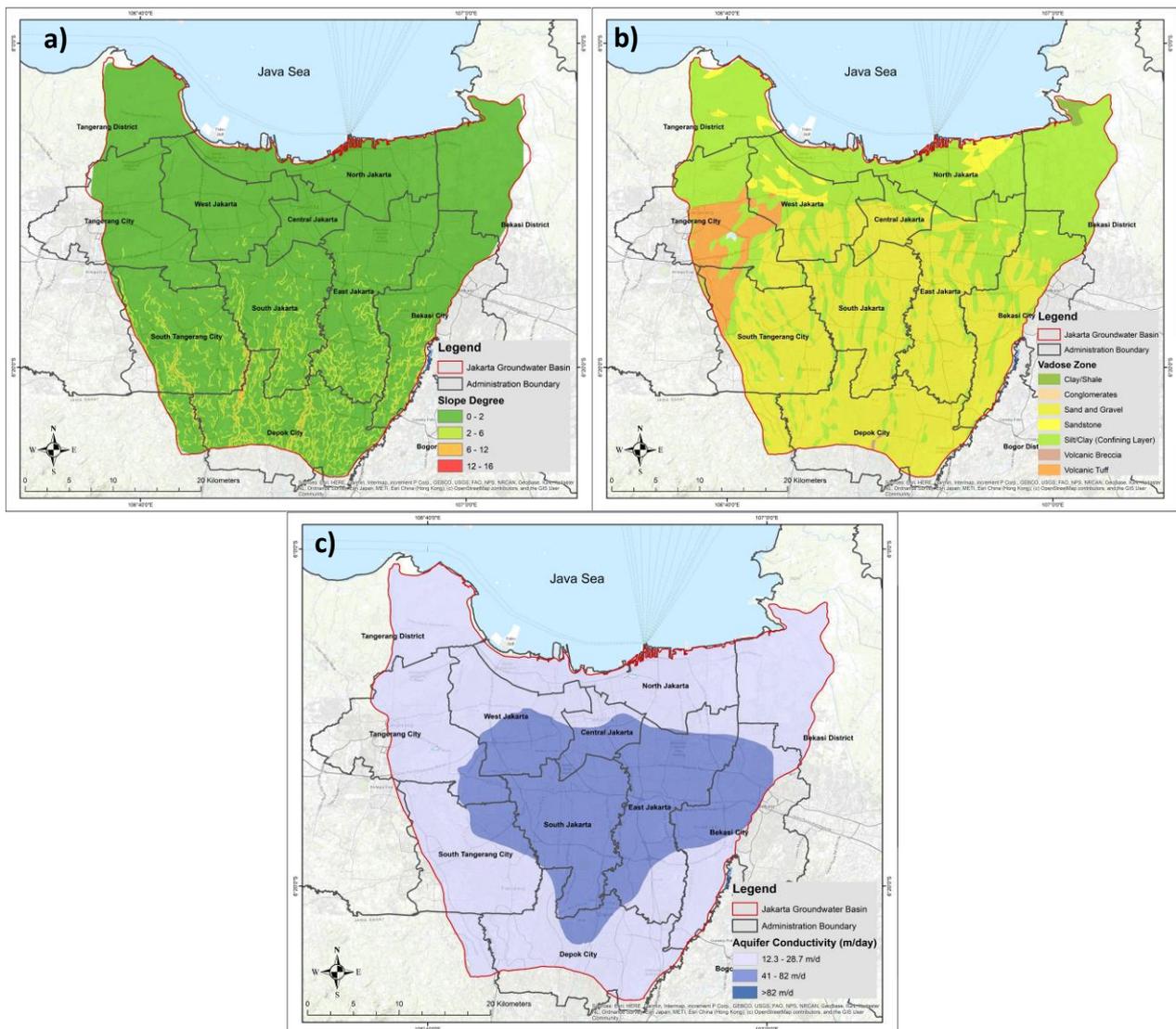
Di wilayah selatan seperti Tangerang Selatan, Depok, dan Jakarta Selatan, lereng berkisar antara 6% hingga 12%, yang menghasilkan skor kerentanan sedang dengan nilai 5. Sementara itu, wilayah dengan lereng paling curam, antara 12% hingga 16%, terutama di sekitar bantaran sungai, memiliki skor kerentanan rendah sebesar 3 karena limpasan yang dominan mengurangi infiltrasi. Zona transisi dengan kemiringan lereng antara 2% hingga 6% memiliki skor kerentanan sebesar 9, menunjukkan tingkat kerentanan sedang terhadap kontaminasi air tanah.

#### 4.6. Zona Tak Jenuh (I)

Zona Tak Jenuh atau zona vadose, yang terletak di antara permukaan tanah dan muka air tanah, berfungsi penting dalam menyaring dan menyalurkan kontaminan sebelum mencapai air tanah. Faktor seperti permeabilitas, litologi, dan ketebalan zona ini sangat mempengaruhi kemampuan zona vadose untuk menahan atau meneruskan kontaminan. Di CAT Jakarta, sifat zona vadose sangat bervariasi antar wilayah, sehingga mempengaruhi tingkat kerentanan

air tanah terhadap polusi. Seperti yang terlihat pada Gambar 4b, wilayah pesisir utara Jakarta didominasi oleh endapan aluvial dan endapan dataran banjir yang tersusun atas lanau dan lempung. Material ini memiliki permeabilitas rendah sehingga berperan sebagai lapisan pelindung terhadap pergerakan kontaminan ke bawah.

Oleh karena itu, area ini diklasifikasikan memiliki kerentanan rendah dengan skor 3. Sebaliknya, zona di bagian selatan dan barat Jakarta lebih rentan karena didominasi oleh kipas aluvial, endapan punggungan pantai, serta konglomerat yang lebih permeabel, khususnya di sekitar Formasi Serpong. Material seperti batu pasir dan kerikil di wilayah ini memungkinkan jalur pergerakan kontaminan yang lebih terbuka, sehingga mendapatkan skor kerentanan lebih tinggi sebesar 6. Model DRASTIC menetapkan skor berdasarkan permeabilitas litologi zona vadose, dengan nilai tinggi mencerminkan peningkatan risiko kontaminasi yang mencapai akuifer (Tabel 3).



Gambar 4. Peta Parameter DRASTIC; (a) Topografi Kemiringan Lereng, (B) Zona Tak Jenuh, dan (c) Konduktivitas Akuifer

**4.7. Konduktivitas Akuifer (C)**

Konduktivitas akuifer di CAT Jakarta menjadi faktor kunci dalam mengendalikan kerentanan air tanah karena menentukan laju aliran air dan transportasi polutan dalam akuifer. Variasi konduktivitas di seluruh cekungan ini terkait erat dengan karakteristik geologi dan produktivitas akuifer yang berbeda. Peta pada Gambar 4c menunjukkan distribusi area dengan konduktivitas tinggi, khususnya di wilayah selatan dan tenggara cekungan, di mana keberadaan pasir dan kerikil yang tersortir baik memungkinkan air dan polutan mengalir lebih cepat ke dalam akuifer. Nilai konduktivitas hidraulik berkisar dari di bawah 12,3 m/hari hingga lebih dari 82 m/hari.

Zona dengan konduktivitas tinggi sangat rentan terhadap polusi karena kontaminan dapat dengan mudah bergerak bersama aliran air melalui ketebalan akuifer. Sebaliknya, wilayah dengan konduktivitas rendah, yang memiliki material akuifer berpermeabilitas rendah seperti lempung atau lanau, menunjukkan risiko kontaminasi yang lebih rendah. Dalam model DRASTIC, skor kerentanan tinggi diberikan kepada area dengan konduktivitas tinggi karena kemampuannya yang besar dalam memfasilitasi penyebaran kontaminan (Tabel 3).

**4.8. Peta Kerentanan Air Tanah Intrinsik**

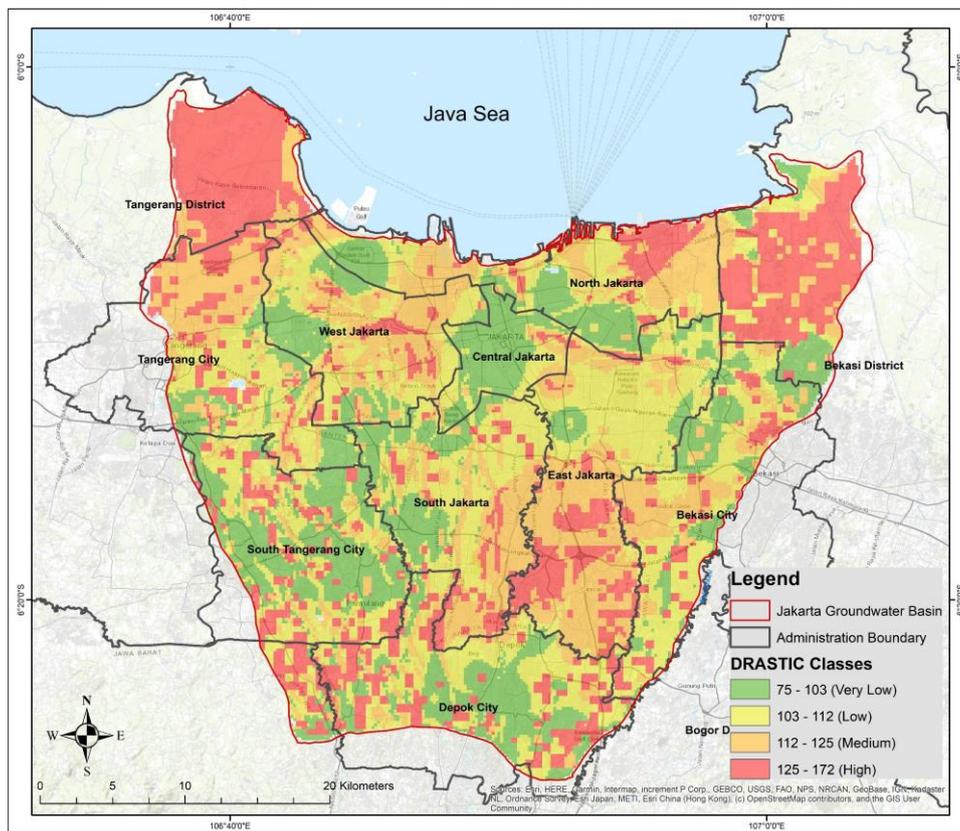
Tabel 3 menyajikan bobot, rentang, dan peringkat untuk masing-masing parameter DRASTIC, yang diadaptasi dari Aller dkk. (1987), yang digunakan dalam penelitian ini untuk menilai kerentanan air tanah di CAT Jakarta.

Hasil dari model DRASTIC memberikan gambaran spasial yang komprehensif mengenai tingkat kerentanan air tanah di wilayah Cekungan Air Tanah Jakarta (Gambar 5). Tujuh parameter hidrogeologi intrinsik tersebut sangat membantu untuk melihat kondisi kerentanannya, data-data ini diintegrasikan melalui perangkat lunak ArcGIS sehingga mampu merepresentasikan variasi spasial kerentanan air tanah secara efektif di seluruh Cekungan Air Tanah Jakarta. Berdasarkan hasil analisis, wilayah studi ini diklasifikasikan ke dalam empat kategori kerentanan, yaitu: sangat rendah, rendah, sedang, dan tinggi.

Zona merah dan oranye pada peta menunjukkan tingkat kerentanan tinggi terhadap kontaminasi yang terdapat di wilayah utara Kabupaten Tangerang dan Kabupaten Bekasi, sebagian wilayah Jakarta Barat, bagian timur Jakarta Utara, serta sekitar lima puluh persen dari wilayah Jakarta Timur. Tingginya risiko di daerah ini disebabkan oleh muka air tanah yang dangkal, tingkat imbuhan yang tinggi, serta keberadaan akuifer dengan permeabilitas yang besar. Kota Depok juga menunjukkan area berisiko tinggi yang tersebar, demikian pula beberapa zona kecil di Tangerang Selatan dan Jakarta Selatan.

**Tabel 3.** Parameter DRASTIC pada CAT Jakarta

Parameter DRASTIC	Rentang Nilai	Peringkat	Bobot
(D) Kedalaman Air Tanah	0 - 1.5 m	10	
	1.5 - 4.6 m	9	
	4.6 - 9.1 m	7	
	9.1 - 15.2 m	5	5
	15.2 - 22.8 m	3	
	22.8 - 30.4 m	2	
(R) Imbuhan Air	> 30.4 m	1	
	< 250 mm/year	1	
	250 - 500 mm/year	3	
	500 - 750 mm/year	6	4
	750 - 1,000 mm/year	8	
(A) Jenis Akuifer	> 1,000 mm/year	9	
	Batu Gamping	6	
	Breksi Vulkanik	5	
	Konglomerat/Batu Pasir/Tufa	6	
	Pasir dan Kerikil	8	3
	Tanah Liat dan Lanau	3	
(S) Jenis Tanah	Pasir Halus dan Lanau	4	
	Pasir yang Tersortir Baik dengan Moluska	8	
	Lempung berliat (Nitosol Distrik)	5	2
(T) Topografi kemiringan lereng	Liat menyusut (Fluvisol Distrik)	7	
	0 - 2%	10	
	2 - 6%	9	
	6 - 12%	5	1
(I) Zona Tak Jenuh	12 - 16%	3	
	Lanau/Lempung (Lapisan Pembatas)	3	
	Pasir dan Kerikil	6	5
	Batu Pasir dan Konglomerat	6	
(C) Konduktivitas Hidrolik	Breksi Vulkanik/Tufa	4	
	Tinggi (> 82 m/hari)	10	
	Sedang (41 - 82 m/hari)	8	3
	Rendah (12,3 - 28,7 m/hari)	4	
	Sangat Rendah (<12,3 m/hari)	2	



**Gambar 5.** Peta Kerentanan Air Tanah Intrinsik berdasarkan Model DRASTIC di CAT Jakarta

Sebaliknya, wilayah yang ditandai dengan warna kuning dan hijau, yang mengindikasikan kerentanan rendah hingga sangat rendah, mendominasi sebagian besar Jakarta Pusat, bagian utara Jakarta Timur, serta sebagian besar Jakarta Selatan, Tangerang Selatan, Depok, dan Bekasi. Kondisi di wilayah-wilayah ini menunjukkan adanya perlindungan alami yang lebih baik terhadap kontaminasi, yang disebabkan oleh kedalaman air tanah yang lebih dalam, tingkat imbuhan yang lebih rendah, dan media akuifer dengan permeabilitas yang lebih rendah.

## 5. KESIMPULAN

Model DRASTIC memberikan evaluasi yang komprehensif terhadap kerentanan air tanah di Cekungan Air Tanah Jakarta dengan menganalisis tujuh parameter hidrogeologi utama: kedalaman air tanah, imbuhan bersih, media akuifer, media tanah, topografi, karakteristik zona tak jenuh (vadose), dan konduktivitas hidrolis. Analisis ini menghasilkan peta kerentanan yang mengklasifikasikan cekungan ke dalam empat tingkat: sangat rendah, rendah, sedang, dan tinggi.

Wilayah yang diidentifikasi sebagai zona berisiko tinggi, yang ditunjukkan dengan warna merah dan oranye, terutama ditemukan di bagian utara Kabupaten Tangerang, bagian utara Kabupaten Bekasi, beberapa area di Jakarta Barat, bagian timur Jakarta Utara, dan sejumlah wilayah di Jakarta Timur. Selain itu, terdapat zona-zona berisiko tinggi tambahan yang tersebar di Kota Depok serta area terbatas di Tangerang Selatan dan Jakarta Selatan.

Wilayah ini rentan terhadap kontaminasi karena memiliki muka air tanah yang dangkal, tingkat imbuhan yang tinggi, serta karakter akuifer yang sangat permeabel.

Sebaliknya, wilayah dengan tingkat kerentanan rendah hingga sangat rendah, yang digambarkan dengan warna kuning dan hijau, meliputi sebagian besar Jakarta Pusat, bagian utara Jakarta Timur, serta sebagian besar wilayah Jakarta Selatan, Tangerang Selatan, Depok, dan Bekasi. Wilayah-wilayah ini secara alami lebih terlindungi dari potensi kontaminasi akibat kedalaman air tanah yang lebih dalam, tingkat imbuhan yang lebih rendah, serta media akuifer dengan permeabilitas yang rendah.

Pola spasial yang diungkapkan melalui model DRASTIC menjadi sangat penting dalam mendukung pengelolaan dan perlindungan sumber daya air tanah secara tepat, khususnya di wilayah yang mengalami percepatan pembangunan. Penelitian ini berfokus pada kerentanan intrinsik; penelitian lanjutan diharapkan dapat mengembangkan "peta kerentanan spesifik" yang lebih mendetail dengan integrasi data penggunaan lahan dan sumber pencemar. Hal ini akan memungkinkan perumusan strategi mitigasi yang lebih terfokus, khususnya di kawasan perkotaan dan industri yang berisiko tinggi.

Ringkasan temuan utama penelitian ini menunjukkan bahwa pola spasial kerentanan air tanah sangat dipengaruhi oleh variasi kondisi hidrogeologi seperti kedalaman muka air tanah, tingkat imbuhan, serta permeabilitas media akuifer. Perbedaan kondisi ini menegaskan pentingnya

pengelolaan air tanah secara terarah dan berbasis risiko, khususnya di wilayah perkotaan dengan aktivitas pembangunan tinggi. Untuk meningkatkan ketelitian penilaian risiko pencemaran, kajian berikutnya direkomendasikan untuk mengintegrasikan data penggunaan lahan serta informasi sumber pencemar ke dalam analisis kerentanan spesifik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J.H., Petty, R.J., and Hackett, G., (1987), DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings, U.S. Environmental Protection Agency, EPA 600/2-87-035.
- Boufekane, A., Belloula, M., Busico, G., Drias, T., Reghais, A., Maizi, D., Wysowska, E., Kicińska, A., Nikiel, G., Carreras, X., Fraile, J., Garrido, T., and Cardona, C., (2022), Groundwater vulnerability mapping assessment using overlay and the DRASTIC method in Catalonia, Handbook of Environmental Chemistry, 43(18), 2925-2934.
- Delinom, R.M., Lubis, R.F., and Yulianto, E., (2015), Ancaman bawah permukaan Jakarta: Tak terlihat, tak terpikirkan, dan tak terduga, LIPI Press.
- Deltares, Urban Solutions, Witteveen en Bos, Triple-A Team, Pusair, and ITB., (2011), Pengamanan Pantai Jakarta, Deltares, Jakarta.
- Frappart, F., and Merwade, V., (2022), Groundwater systems worldwide, *Frontiers in Earth Science*, 10, 1-10.
- Ghazavi, R., and Ebrahimi, Z., (2015), Assessing groundwater vulnerability to contamination in an arid environment using DRASTIC and GOD models, *Environmental Earth Sciences*, 74(7), 5875-5887.
- Haryadi, T., and Taat, S., (2013), Penyelidikan konservasi (konfigurasi-potensi-zona konservasi) air tanah CAT Jakarta, Laporan No. 215/LAP-BGE.P2K/2013.
- Jafari, S.M., and Nikoo, M.R., (2016), Groundwater risk assessment based on optimization framework using DRASTIC method, *Arabian Journal of Geosciences*, 9(20), 1-9.
- Lubis, R.F., (2018), Urban hydrogeology in Indonesia: A highlight from Jakarta, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 118(1), 1-8.
- Luo, P., Kang, S., Zhou, M., Lyu, J., Aisyah, S., Binaya, M., and Nover, D., (2019), Water quality trend assessment in Jakarta: A rapidly growing Asian megacity, *PLOS One*, 14(7), e0219009.
- Männik, M., Karro, E., Marandi, A., Polikarpus, M., Ani, T., and Rosentau, A., (2022), Modified DRASTIC method for groundwater vulnerability assessment in areas with diverse quaternary deposits, *Scientific Reports*, 12, 1-10.
- Ministry of Energy and Mineral Resources, Republic of Indonesia., (2017), Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2017 Tentang Cekungan Air Tanah di Indonesia, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.
- Neshat, A., Pradhan, B., Javadi, S., and Shafri, H.Z.M., (2014), An integrated GIS based DRASTIC model for groundwater vulnerability assessment: A case study of the Kerman agricultural area, Iran, *Environmental Earth Sciences*, 71(7), 3163-3177.
- Nugraha, G.U., Lubis, R.F., Bakti, H., and Hartanto, P., (2021), Groundwater recharge estimation using water budget and water table fluctuation method in the CAT Jakarta, *Jurnal IAGI (Ikatan Ahli Geologi Indonesia)*, 1(1), 12-21.
- Nur, A.A., and Ruswandi, D., (2022), Groundwater level forecasting in the CAT Jakarta, *International Journal of Geophysics*, 2022, 1-6.
- Nursyriwan, I., Bisri, M., Montarcih, L., and Suhartanto, E., (2019), Numerical prediction of the groundwater drawdown impact in Jakarta, *Indonesian Journal of Geography*, 51(3), 231-238.
- Prayogi, T.E., Abdillah, F., Wahida, S.S., and Sulistyawan, R.I.H., (2022), Analysis of groundwater quality status for raw water needs in the CAT Jakarta, *Proceedings of the Indonesian Association of Geologists*, 1, 1-8.
- Seizarwati, W., Syahidah, M., and Rengganis, H., (2017), Penurunan kapasitas imbuhan air tanah CAT Jakarta menggunakan metode neraca air untuk daerah urban, *Riset Geologi dan Tata Lingkungan*, 27(1), 27-37.
- Wei, A., Bi, P., Guo, J., Lu, S., and Li, D., (2021), Modified DRASTIC model for groundwater vulnerability to nitrate contamination in the Dagujia River Basin, China, *Water Science and Technology: Water Supply*, 21(4), 1793-1805.