

**Zonasi Intrusi Air Laut pada Sistem Akuifer Tertekan Atas Cekungan Air Tanah Jakarta*****Zoning of Seawater Intrusion in Upper Confined Aquifer System  
of Jakarta Groundwater Basin***

Mafira Yuwandari<sup>1</sup>, Teuku Yan Waliana Muda Iskandarsyah<sup>1</sup>, M. Nursiyam Barkah<sup>1</sup>,  
Taat Setiawan<sup>2</sup>, dan Janner Rahmat Sudianto Nababan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran  
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km. 21, Jatinangor 45363, Indonesia

<sup>2</sup>Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan  
Jl. Diponegoro No. 57, Bandung 40122, Indonesia

<sup>3</sup>Balai Konservasi Air Tanah  
Jl. Tongkol No. 4 Pademangan, Jakarta Utara 14430, Indonesia

e-mail: my.fira98@gmail.com

Naskah diterima 17 Februari 2020, selesai direvisi 29 Agustus 2020, dan disetujui 30 Agustus 2020

**ABSTRAK**

Daerah Khusus Ibukota (DKI) Jakarta merupakan ibukota negara Indonesia yang terus berkembang pesat seiring dengan pertumbuhan industri, permukiman, perdagangan, dan jasa. Perkembangan daerah yang seiring dengan pertumbuhan penduduk mengakibatkan kebutuhan air bersih juga semakin meningkat. PDAM masih belum mampu mencukupi kebutuhan air masyarakat sehingga air tanah menjadi sumber air utama untuk kebutuhan harian dan komersil. Pemanfaatan air tanah yang tidak terkendali dapat mempengaruhi kondisi air tanah di Jakarta. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kondisi air tanah di bagian utara CAT Jakarta khususnya pada sistem akuifer tertekan atas (40-140 mbmt) berdasarkan hasil pengamatan lapangan dan analisis laboratorium melalui 27 (dua puluh tujuh) sumur terpilih. Aliran air tanah daerah penelitian mengarah dari selatan ke utara. Hasil analisis Diagram Piper menunjukkan fasies air tanah daerah penelitian terbagi menjadi empat yaitu Na-HCO<sub>3</sub>, Ca-HCO<sub>3</sub>, Na-Cl, dan *mixed* (Ca-Na-HCO<sub>3</sub>, Na-Ca-HCO<sub>3</sub>, Ca-Na-HCO<sub>3</sub>-Cl). Tingkat keasaman air tanah daerah penelitian terbagi menjadi dua zona yaitu tawar dan tawar-payau. Analisis rasio  $\gamma\text{Na}/\gamma\text{Cl}$ , TDS terhadap elevasi MAT, DHL terhadap Cl, dan  $\gamma\text{Cl}/(\gamma\text{CO}_3+\gamma\text{HCO}_3)$  menghasilkan lima zona intrusi yang mengalami perubahan dari tahun 2015 - 2018 yaitu zona air tawar, zona intrusi air laut sedikit, zona intrusi air laut sedang, zona intrusi air laut agak tinggi, dan zona intrusi air laut tinggi.

**Kata kunci:** cekungan air tanah Jakarta, fasies air tanah, hidrokimia, intrusi air laut

**ABSTRACT**

*Special Capital Region of Jakarta, the capital city of Indonesia, is a rapidly developing city with a rapid growth in industry, population, business, and service. The rapid growth of population in the city has escalated the need for clean usable water. Groundwater has been the main source of water used by the people for daily needs and activities, since PDAM has failed to meet the needs effectively. Groundwater condition in Jakarta is likely to be affected by unauthorized misuses. Therefore, this research was conducted in order to examine the groundwater condition in northern part of Jakarta Groundwater Basin based on field observation and laboratory analysis of 27 selected wells. Groundwater flow in the northern part of Jakarta Groundwater Basin flowed from the south toward the north. Based on Piper Diagram analysis, groundwater facies were divided into four facies: Na-HCO<sub>3</sub>, Ca-HCO<sub>3</sub>, Na-Cl, and mixed (Ca-Na-HCO<sub>3</sub>, Na-Ca-HCO<sub>3</sub>, Ca-Na-HCO<sub>3</sub>-Cl). Based on the salinity, the groundwater was divided into two zones: fresh water and fresh-brackish water. Based on the ratio of  $\gamma\text{Na}/\gamma\text{Cl}$ , TDS to groundwater elevation, EC to Cl, and  $\gamma\text{Cl}/(\gamma\text{CO}_3+\gamma\text{HCO}_3)$ ; there were five intrusion zones in the observed area: fresh water zone, slight seawater intrusion zone, medium seawater intrusion zone, slightly high seawater intrusion zone, and high seawater intrusion zone.*

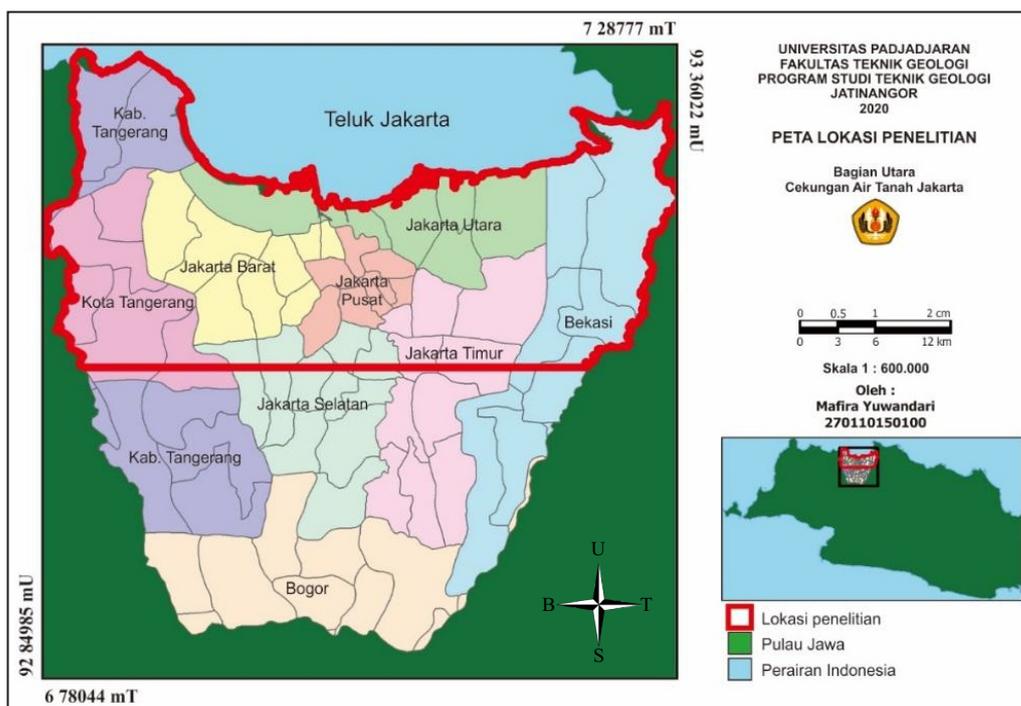
**Keywords:** Jakarta groundwater basin, groundwater facies, hydrochemistry, seawater intrusion

## PENDAHULUAN

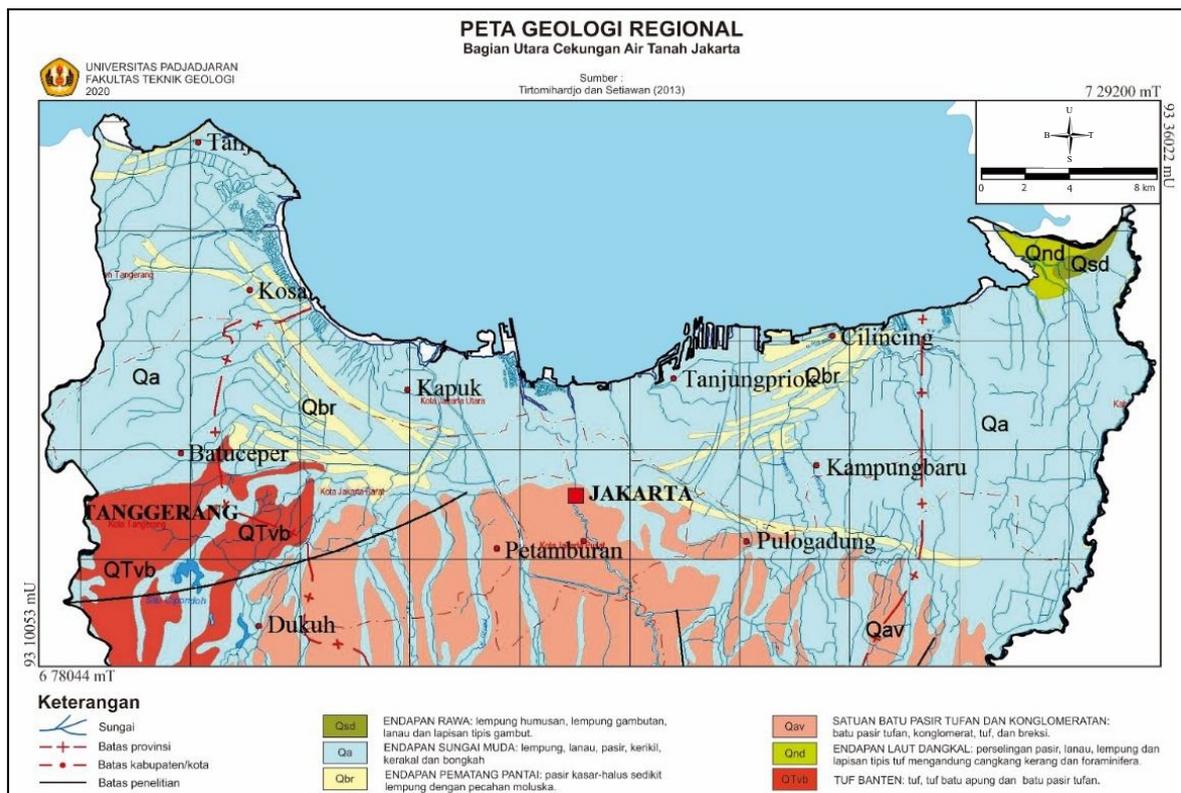
DKI Jakarta sebagai ibukota negara Indonesia terus mengalami perkembangan yang pesat seiring dengan pertumbuhan industri, pemukiman penduduk, perdagangan, dan jasa. Penduduk DKI Jakarta juga mengalami pertambahan dari tahun ke tahun yaitu dari 10.467.629 jiwa pada 2018 menjadi 10.557.810 jiwa pada 2019 (Badan Pusat Statistik, 2019). Pertambahan penduduk ini secara tidak langsung menyebabkan kebutuhan air bersih juga semakin meningkat. Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) DKI Jakarta sebagai perusahaan jasa milik pemerintah masih belum bisa mencukupi kebutuhan dalam mendistribusikan air bersih kepada masyarakat dengan wilayah cakupan layanan seluas 60,3% (PAM Jaya, 2019) sehingga masyarakat yang belum terlayani akan memilih menggunakan sumber air di sekitarnya. Pemanfaatan air tanah tanpa mempertimbangkan potensi ketersediaan dan kualitasnya dalam jangka waktu tertentu akan menimbulkan permasalahan lingkungan. Beberapa masalah lingkungan yang sudah teridentifikasi adalah penurunan muka piezometrik, amblesan tanah, dan nilai daya hantar listrik mencapai  $> 5.000$

$\mu\text{S/cm}$  (air tanah payau) pada sistem akuifer tertekan atas (40 - 140 mbmt) di bagian utara Cekungan Air Tanah (CAT) Jakarta (Tirtomihardjo dan Setiawan, 2013). Apabila hal tersebut terus berlanjut tanpa adanya upaya pengendalian, maka air tanah akan semakin rusak, bahkan dapat memicu terjadinya intrusi air laut. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kondisi air tanah di bagian utara CAT Jakarta berdasarkan hasil analisis sifat fisik dan kimia air tanah pada sistem akuifer tertekan atas (40 - 140 mbmt).

Lokasi penelitian berada di bagian utara CAT Jakarta dengan koordinat 678044 - 728777 mT dan 9284985 - 9336022 mU (Gambar 1). Batas daerah penelitian adalah Teluk Jakarta di bagian utara; Sungai Cikeas di bagian timur; Kabupaten Tangerang, sebagian Jakarta Selatan, sebagian Jakarta Barat, dan sebagian Bekasi di bagian selatan; serta Sungai Cisadane di bagian barat. Menurut Achan dan Sudana (1998) dalam Tirtomihardjo dan Setiawan (2013) dan Turkandi, dr. (1992), bagian utara CAT Jakarta disusun oleh satuan batuan yang berumur dari muda ke tua (Gambar 2) yaitu endapan rawa (Qsd), endapan sungai muda (Qa), endapan



Gambar 1. Lokasi penelitian.



Gambar 2. Geologi regional daerah penelitian (Tirtomihardjo dan Setiawan, 2013).

Pematang Pantai (Qbr), satuan batu pasir tufan dan konglomeratan (Qav), endapan laut dangkal (Qnd), dan tuf Banten (QTvb). Sebaran vertikal air tanah daerah penelitian dijumpai pada lapisan akuifer jamak (*multi layers aquifer*) dan termasuk ke dalam sistem akuifer tertekan atas dengan kedalaman rata-rata 40 - 140 mbmt (Poespowardoyo, 1986 dalam Setiawan dr., 2017). Terdapat lapisan lempung laut yang tebal sebagai lapisan pembatas sistem akuifer (Tirtomihardjo dan Setiawan, 2013).

### METODE PENELITIAN

Penelitian zonasi intrusi air laut pada sistem akuifer tertekan atas (40 - 140 mbmt) di bagian utara CAT Jakarta menggunakan 27 data hasil penelitian yang dilakukan oleh Balai Konservasi Air Tanah Jakarta (BKAT) tahun 2018. Data yang digunakan antara lain muka air tanah tertekan (piezometrik), daya hantar listrik (DHL), dan ion mayor hasil analisis hidrokimia seperti  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $HCO_3^{2-}$ ,  $Cl^-$ , dan

$SO_4^{2-}$ . Ketelitian hasil analisis laboratorium diuji dengan cara menghitung *charge balance error* (CBE) menggunakan persamaan berikut (Matthess and Harvey, 1982):

$$CBE = \frac{\sum \gamma_c - \sum \gamma_a}{\sum \gamma_c + \sum \gamma_a} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

Notasi  $\sum \gamma_c$  menyatakan jumlah kation dan  $\sum \gamma_a$  menyatakan jumlah anion dalam meq/l.

Beberapa analisis yang dilakukan pada penelitian ini antara lain pola aliran air tanah, fasies air tanah, tingkat keasinan air tanah, dan penyebab keasinan air tanah. Hasil analisis tersebut digunakan untuk menentukan zona intrusi air laut.

Analisis pola aliran air tanah bertujuan untuk mengetahui arah aliran air tanah tertekan mengacu kepada Todd and Mays (2005) dan diolah dengan ArcGIS 10.5. Analisis fasies air tanah dilakukan untuk mengetahui proses-proses hidrogeokimia pada setiap zona air tanah menggunakan Diagram Piper (Piper, 1944) yang

diolah dengan *Rockworks* 16 dan *Aquachem* 5.1. Analisis tingkat keasinan air tanah dan penyebarannya menggunakan nilai daya hantar listrik (DHL), zat padat terlarut (TDS), dan ion klorida (Cl). Analisis ini mengacu kepada klasifikasi air tanah (Tabel 1) oleh Panitia *Ad Hoc* Intrusi Air Asin (PAHIAA) Jakarta (1986) dalam Prayogi, dr. (2018) dan diolah menggunakan *ArcGIS* 10.5.

Analisis penyebab keasinan air tanah dilakukan dengan beberapa cara antara lain rasio  $\gamma\text{Na}/\gamma\text{Cl}$ , korelasi TDS dengan kedalaman muka air tanah, korelasi parameter DHL dengan ion  $\text{Cl}^-$ , serta nilai  $\gamma\text{Cl}/(\gamma\text{CO}_3 + \gamma\text{HCO}_3)$ . Kelimpahan dan sebaran tiap parameter intrusi air laut dilakukan analisis standar deviasi dan koefisien variasi yang menggambarkan heterogenitas suatu kelompok data (Yusniyanti dan Kurniati, 2017).

Nilai rasio  $\gamma\text{Na}/\gamma\text{Cl}$  pada sumur yang terpengaruh intrusi air laut biasanya lebih rendah dibandingkan air laut, umumnya adalah 0,858 (Klassen *et al.*, 2014). Apabila rasio  $\gamma\text{Na}/\gamma\text{Cl} < 1$  maka kemungkinan disebabkan oleh proses pencampuran air laut ke dalam akuifer atau rendahnya tingkat pencucian air hujan yang mengalami perkolasi (Sammans and Jaks, 2007 dalam Setiawan dr., 2017). Sedangkan tingginya nilai rasio  $\gamma\text{Na}/\gamma\text{Cl}$  dapat disebabkan adanya kontaminasi sumber antropogenik (Klassen *et al.*, 2014) atau interaksi antara air tanah dengan batuan melalui proses hidrolisis dan reaksi asam basa (Yang and Guang, 2013 dalam Setiawan dr., 2017). Tingginya rasio  $\gamma\text{Na}/\gamma\text{Cl}$  juga dapat dipengaruhi oleh adanya proses tukar kation antara  $\text{Ca}^{2+}$  dengan  $\text{Na}^{2+}$  (Sposito, 1989 dalam Setiawan, 2014).

Zona intrusi air laut dapat dilakukan dengan mengetahui hubungan antaranilai TDS terhadap elevasi muka air tanah. Allen dan Liteanu (2006)

membagi tipe air menjadi 3 zona yaitu; zona 1 dicirikan oleh tingginya nilai TDS akibat salinisasi langsung (percampuran air tanah tawar  $\text{Ca-HCO}_3$  dan air laut  $\text{Na-Cl}$ ), zona 2 dicirikan oleh air dengan nilai TDS yang tidak bertambah atau sedikit bertambah seiring dengan pertambahan kedalaman, dan zona 3 mewakili air yang tercampur dengan air asin. Air tanah pada zona 2 menggambarkan proses tukar kation dan tidak ada peningkatan salinitas dimana terjadi perubahan fasies air tanah dari  $\text{Ca-HCO}_3$  menjadi  $\text{Na-HCO}_3$ . Air tanah pada zona 3 menunjukkan variabel komposisi kation ( $\text{Ca}$  atau  $\text{Na}$ ) dengan peningkatan konsentrasi  $\text{Cl}^-$ .

Indikasi intrusi air laut dapat juga dianalisis dari parameter daya hantar listrik DHL dan  $\text{Cl}^-$ . Washington State Department of Ecology membagi air tanah menjadi 3 zona yaitu normal, *mixed*, dan *seawater intrusion* (SWI). Sampel air tanah dengan  $\text{Cl}^-$  lebih dari 200 mg/l dan DHL lebih dari 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  merupakan air tanah yang dipengaruhi intrusi air laut. Sampel air tanah dengan  $\text{Cl}^-$  antara 100-200 mg/l dan DHL antara 600-2.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  menunjukkan pencampuran antara air tawar dan air laut.

Indikasi adanya intrusi air laut dapat ditentukan berdasarkan nilai  $\gamma\text{Cl}/(\gamma\text{CO}_3 + \gamma\text{HCO}_3)$ . Menurut Revelle (1941) dalam Listiawan (2014), nilai R yang merupakan perbandingan ion klorida terhadap ion karbonat dan bikarbonat dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$R = \frac{\bar{a}\text{Cl}}{\bar{a}\text{CO}_3 + \bar{a}\text{HCO}_3} \dots\dots\dots (2)$$

Notasi  $\gamma\text{Cl}$ ,  $\gamma\text{CO}_3$ , dan  $\gamma\text{HCO}_3$  masing-masing adalah konsentrasi ion klorida, ion karbonat, dan ion bikarbonat dengan satuan dalam meq/

Tabel 1. Klasifikasi tingkat keasinan air tanah (PAHIAA Jakarta, 1986 dalam Prayogi dr., 2018)

Jenis Air	TDS (mg/l)	DHL ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Cl (mg/L)
Air tawar	< 1.500	< 1.500	< 500
Air tawar-payau	1.000 - 3.000	1.500 - 5.000	200 - 2.000
Air payau	3.000 - 10.000	5.000 - 15.000	2.000 - 5.000
Air asin	10.000 - 35.000	15.000 - 50.000	5.000 - 19.000
Brine	> 35.000	> 50.000	> 19.000

liter. Simpson (1946) dalam Listiawan (2014) membuat klasifikasi tingkat kontaminasi air laut yang disajikan pada Tabel 2 berdasarkan nilai R.

Tabel 2. Klasifikasi tingkat kontaminasi air laut berdasarkan nilai R (Simpson, 1946 dalam Listiawan, 2014)

Nilai R	Tingkat Kontaminasi Air Laut
< 0,5	Air tawar
0,5 – 1,3	Terkontaminasi sedikit
1,3 – 2,8	Terkontaminasi sedang
2,8 – 6,6	Terkontaminasi agak tinggi
6,6 – 15,5	Terkontaminasi tinggi
> 15,5	Air laut

Zona intrusi air laut ditentukan berdasarkan rasio  $\gamma\text{Na}/\gamma\text{Cl}$ , korelasi TDS terhadap elevasi muka airtanah, korelasi DHL terhadap Cl, dan  $\gamma\text{Cl}/(\gamma\text{CO}_3+\gamma\text{HCO}_3)$ . Semua parameter di-overlay menggunakan *Raster Calculator* di *ArcGIS* 10.5 untuk menentukan zona intrusi air laut. Peta-peta tersebut diklasifikasikan menjadi 2 zona yaitu zona tidak terpengaruh intrusi diberi nilai nol (0) dan zona terpengaruh intrusi diberi nilai satu (1).

Rasio  $\gamma\text{Na}/\gamma\text{Cl} > 1$  diberi nilai 0 dan rasio  $\gamma\text{Na}/\gamma\text{Cl} < 1$  diberi nilai 1 (Vengosh dr., 1999; Kanzakis dr., 2016 dalam Zahra dr., 2018). Pembagian zona pada peta rasio TDS terhadap elevasi MAT berdasarkan pada nilai TDS. TDS < 500 mg/l diberi nilai 0 dan TDS > 500 mg/l diberi nilai 1. Pembagian zona pada peta rasio DHL terhadap Cl berdasarkan pada nilai Cl. Cl < 100 mg/l diberi nilai 0 dan Cl > 100 mg/l diberi nilai 1. Rasio  $\gamma\text{Cl}/(\gamma\text{CO}_3+\gamma\text{HCO}_3) < 0,5$  diberi nilai 0 dan rasio  $\gamma\text{Cl}/(\gamma\text{CO}_3+\gamma\text{HCO}_3) > 0,5$  diberi nilai 1.

Berdasarkan pembagian tersebut, peta zona intrusi air laut dapat dibedakan menjadi zona tidak terintrusi, zona terintrusi sedikit, zona terintrusi sedang, zona terintrusi agak tinggi, dan zona terintrusi tinggi. Analisis zona intrusi air laut dilakukan dengan cara melihat sebaran zona intrusi pada tahun 2018 dan melihat perubahan tiap zona dari tahun ke tahun dengan cara membandingkan peta-peta zona intrusi air laut dari tahun 2015 hingga 2018.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

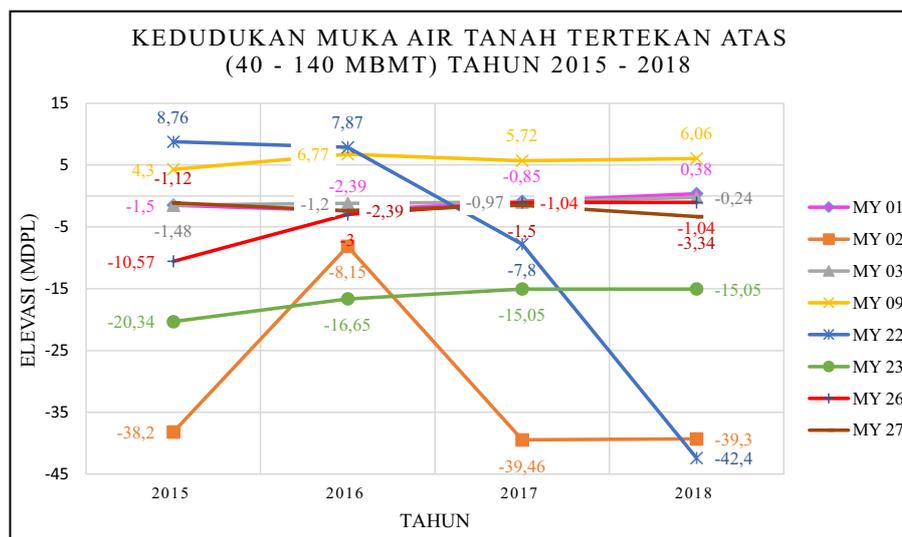
Penelitian terkait kualitas air tanah pada sistem akuifer tertekan atas di CAT Jakarta sudah pernah dilakukan sebelumnya oleh Matahelumual (2010) dengan hasil berupa kualitas air tanah yang tergolong lebih buruk dan tidak memenuhi persyaratan kualitas air minum. Air tanah tertekan atas yang terintrusi air laut dengan kriteria payau hingga asin ditemukan di daerah pantai Jakarta Utara (Matahelumual, 2010) yang merupakan bagian utara CAT Jakarta.

Permukaan piezometrik air tanah tertekan atas di bagian utara CAT Jakarta diukur di 27 sumur pengamatan yang terdiri dari 18 sumur pantau dan 9 sumur produksi (Tabel 3). Pengujian sifat fisik dan kimia air tanah dilakukan pada 16 sumur pengamatan yang terdiri dari 9 sumur pantau dan 7 sumur produksi. Hasil perhitungan CBE dari 16 sumur pengamatan diperoleh nilai sebesar 0,14 % hingga 6,04 % dengan nilai rata-rata sebesar 2,81 % (Tabel 3). Satu sumur yaitu MY 09 memiliki nilai CBE lebih dari 5 %. Hal tersebut dapat disebabkan oleh kesalahan yang terjadi selama analisis laboratorium atau disebabkan karena adanya kehadiran unsur-unsur dengan konsentrasi besar yang tidak teranalisis. Hasil pendataan menunjukkan bahwa muka piezometrik di bagian utara CAT Jakarta memiliki elevasi sebesar -42,4 mdpl hingga 12,16 mdpl dengan elevasi rata-rata sebesar -7,31 mdpl. Elevasi muka piezometrik di daerah penelitian umumnya cenderung naik dari tahun 2015 hingga 2018 (Gambar 3), kecuali sumur MY 02 dan sumur MY 22 yang cenderung mengalami penurunan sebesar 1,1 meter di sumur MY 02 dan 51,16 meter di sumur MY 22. Penurunan tersebut disebabkan oleh adanya pemompaan air tanah yang berlebih.

Pola aliran air tanah di daerah penelitian berbentuk radial (Gambar 4). Kerucut penurunan muka air tanah dijumpai di perbatasan Cakung-Bekasi Utara dan perbatasan Cengkareng-Penjaringan dengan elevasi mencapai -40 mdpl. Secara regional, arah aliran air tanah cenderung menuju utara daerah penelitian.

Tabel 3. Jenis data yang dimiliki setiap sumur bor air tanah

No.	Kode Lokasi	Nama Sumur	Jenis Sumur	Data MAT	Data Fisik Air Tanah	Data Kimia Air Tanah
1	MY 01	Badan Geologi Kebalen, A 8	Pantau	√	√	√
2	MY 02	PT. Sinar Sosro, A 13	Pantau	√	√	√
3	MY 03	SB Cilincing 50 m, A 18	Pantau	√	√	√
4	MY 04	SB Cilincing 100 m, A 19	Pantau	√	√	√
5	MY 05	PT. Darmex, A 32	Produksi	√	√	√
6	MY 06	PT. Roedy Soetadi, A 33	Produksi	√	√	√
7	MY 07	PT. Yamaha, A 34	Produksi	√	√	√
8	MY 08	SB Duren Sawit I, A 44	Pantau	√	√	√
9	MY 09	BPLH Kuningan, A 46	Pantau	√	√	√
10	MY 10	Hotel Borobudur, A 49	Produksi	√	√	√
11	MY 11	WTC Mangga 2, A 51	Pantau	√	√	√
12	MY 12	Masjid Jami Darul Alam	Pantau	√	-	-
13	MY 13	Kelurahan Papanggo	Pantau	√	-	-
14	MY 14	Tongkol V	Pantau	√	-	-
15	MY 15	Tongkol IX	Pantau	√	-	-
16	MY 16	Tongkol XI	Pantau	√	-	-
17	MY 17	Darmex oil & fats	Produksi	√	-	-
18	MY 18	Cemerlang Hadi Perkasa	Produksi	√	-	-
19	MY 19	Segitiga Atrium Senen	Pantau	√	-	-
20	MY 20	Kementerian ESDM (Sekjen)	Pantau	√	-	-
21	MY 21	SB Duren Sawit II	Pantau	√	-	-
22	MY 22	Kantor Kelurahan Kapuk, TI.3	Pantau	√	√	√
23	MY 23	PT. Yuasa Battery Indonesia, TI.23	Produksi	√	√	√
24	MY 24	PT. Surya Toto Indonesia, TI.25	Produksi	-	√	√
25	MY 25	Senayan (sumur III), TI.36	Pantau	√	√	√
26	MY 26	PT. Lion Star, TI.42	Produksi	√	√	√
27	MY 27	Mess Badan Geologi	Pantau	√	-	-
<b>Jumlah</b>				<b>26</b>	<b>16</b>	<b>16</b>

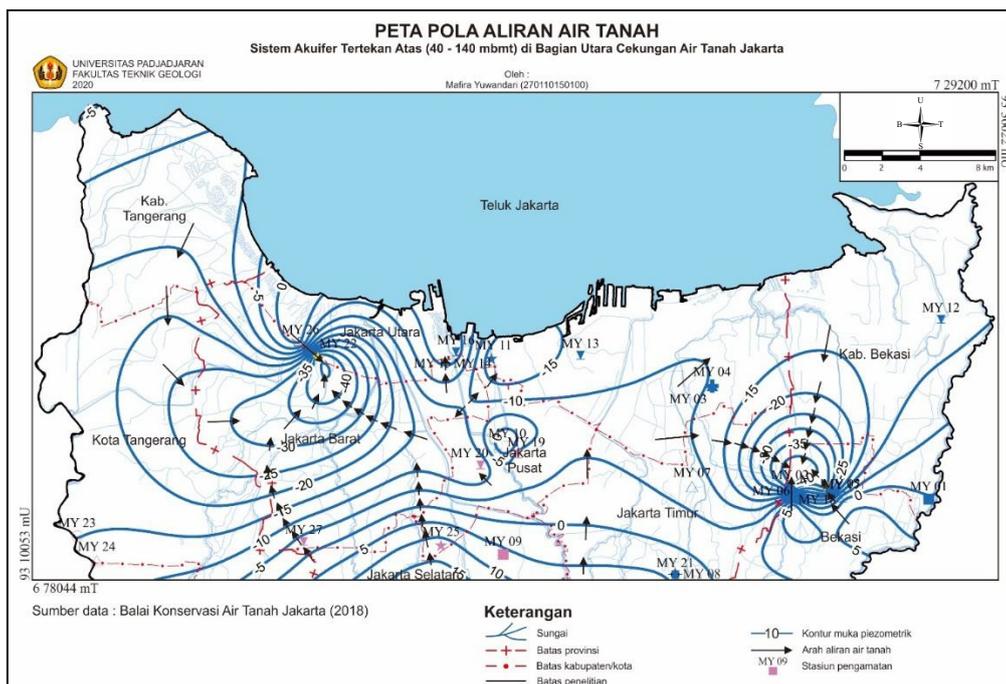


Gambar 3. Grafik fluktuasi kedudukan MAT tertekan atas (40 - 140 mbmt ) tahun 2015- 2018.

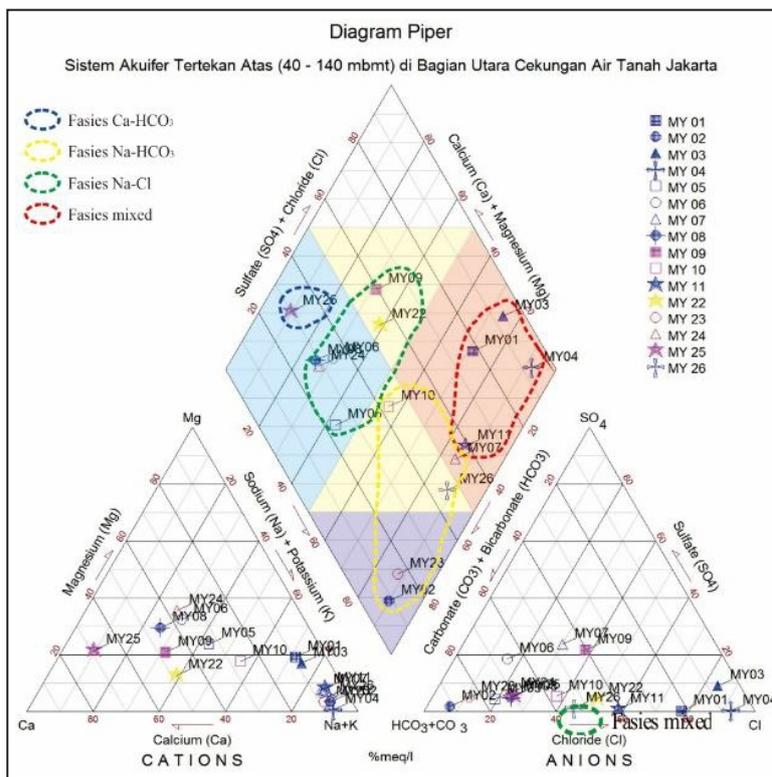
Hasil analisis Diagram Piper (Gambar 5) menunjukkan bahwa fasies air tanah pada akuifer tertekan atas (40 - 140 mbmt) di bagian

utara CAT Jakarta terbagi menjadi empat yaitu fasies Ca-HCO<sub>3</sub> yang berada dalam lingkaran biru pada Diagram Piper, fasies Na-HCO<sub>3</sub> yang

Zonasi Intrusi Air Laut pada Sistem Akuifer Tertekan Atas Cekungan Air Tanah Jakarta



Gambar 4. Pola aliran air tanah tertekan atas (40 - 140 mbmt) di bagian utara CAT Jakarta.



Gambar 5. Diagram Piper air tanah tertekan atas (40 - 140 mbmt).

berada dalam lingkaran kuning pada Diagram Piper, fasies Na-Cl yang berada dalam lingkaran merah pada Diagram Piper, dan fasies mixed

(Ca-Na-HCO<sub>3</sub>, Na-Ca-HCO<sub>3</sub>, dan Ca-Na-HCO<sub>3</sub>-Cl) yang berada dalam lingkaran hijau pada Diagram Piper.

Hasil interpolasi data TDS, DHL, dan Cl dari setiap sumur pengamatan yang ada di daerah penelitian menghasilkan dua kategori tingkat keasinan air tanah (Gambar 6) yaitu air tawar dengan luas 1.174,18 km<sup>2</sup> dan air tawar-payau dengan luas 109,64 km<sup>2</sup>. Sumur yang memiliki air tawar-payau adalah sumur pantau MY 01 di Badan Geologi Kebalen, sumur pantau MY 04 di KBN Cilincing, dan sumur produksi MY 26 di PT. Lion Star Kecamatan Penjaringan Jakarta Utara.

Nilai rata-rata setiap parameter menunjukkan bahwa unsur utama air tanah yang mendominasi daerah penelitian adalah Na, Cl, dan HCO<sub>3</sub> (Tabel 4). Semua parameter selain pH dan kalsium memiliki nilai koefisien variasi relatif besar yang mengindikasikan adanya perubahan atau perbedaan nilai pada setiap sumur pengamatan di daerah penelitian. Besarnya nilai koefisien variasi relatif pada DHL, TDS, Na, Cl, dan HCO<sub>3</sub> menunjukkan bahwa kelima parameter tersebut kemungkinan dipengaruhi oleh be-



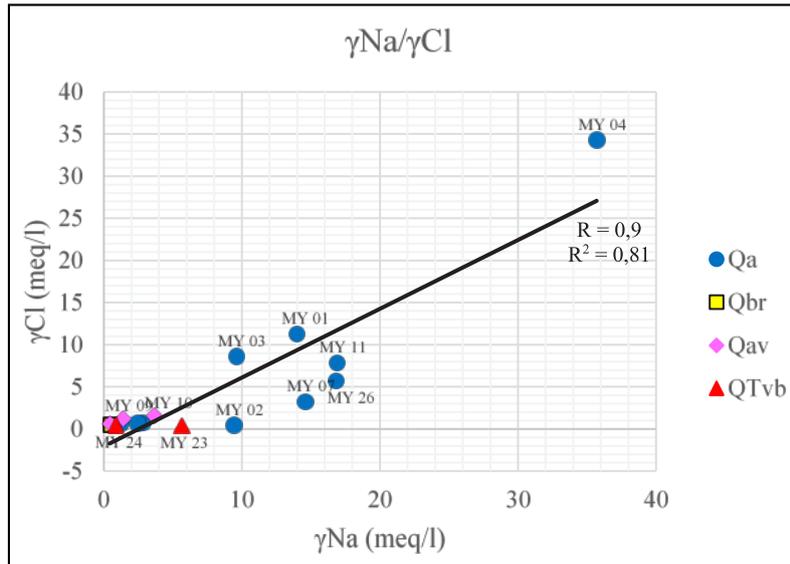
Gambar 6. Zonasi tingkat keasinan air tanah tertekan atas (40 – 140 mbmt) di bagian utara CAT Jakarta.

Tabel 4. Nilai statistik parameter fisik dan kimia air tanah tertekan atas (40 - 140 mbmt)

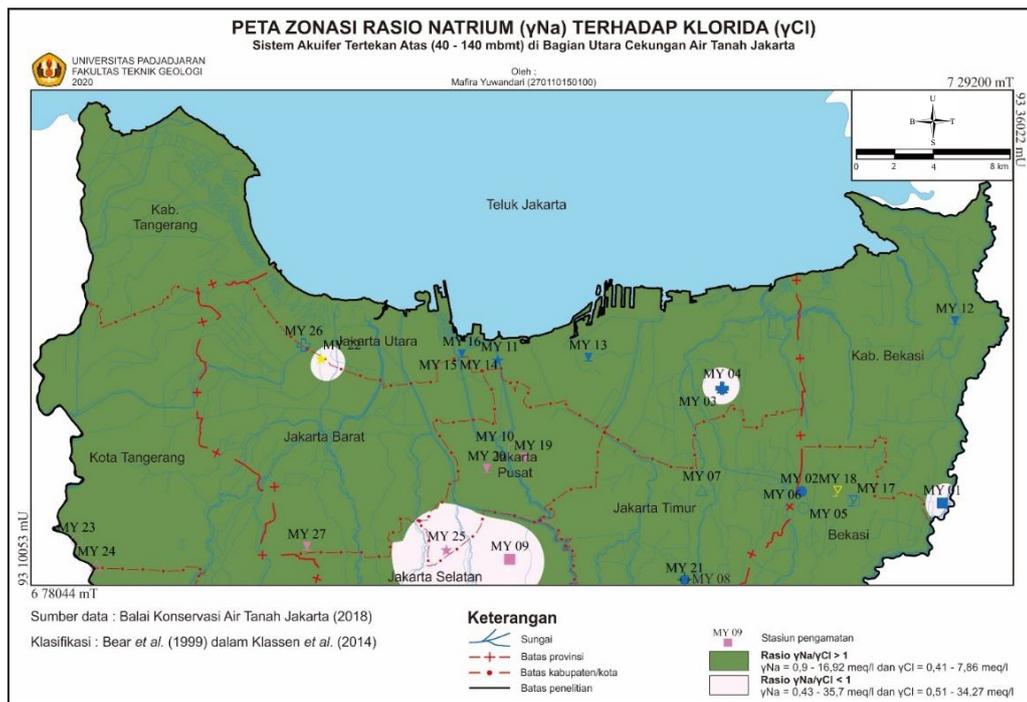
Parameter	Nilai Maksimum	Nilai Minimum	Nilai Rata-rata	Standar Deviasi	Koefisien Variasi
pH	11,05	6,22	7,84	1,07	13,62
DHL (mg/l)	3460	264	975,63	805,44	82,56
TDS (mg/l)	2308	176	698	549,93	78,79
γK (meq/l)	0,56	0,03	0,21	0,13	64,27
γNa (meq/l)	35,7	0,43	8,51	9,45	111,07
γCa (meq/l)	2,85	0,49	1,5	0,75	49,66
γMg (meq/l)	2,03	0,1	0,71	0,51	71,89
γCl (meq/l)	34,27	0,41	4,89	8,58	175,5
γCO <sub>3</sub> (meq/l)	1,32	0	0,16	0,38	231,2
γHCO <sub>3</sub> (meq/l)	10,47	0,8	4,85	3,1	63,89
γSO <sub>4</sub> (meq/l)	3,47	0,06	0,57	0,86	152,07

berapa kondisi seperti lokasi sumur pengamatan, kondisi geologi, indikasi kontaminasi air laut, dan lainnya. Berdasarkan hal tersebut, analisis penyebab keasinan air tanah dilakukan dengan membahas parameter DHL, TDS, Na, Cl, dan  $\text{HCO}_3$  karena konsentrasinya yang melimpah dan koefisien variasinya yang relatif lebih besar dibandingkan parameter lainnya.

$\gamma\text{Na}$  dan  $\gamma\text{Cl}$  memiliki hubungan yang linier positif dengan nilai  $R = 0,9$  dan  $R^2 = 0,81$  (Gambar 7), artinya sebanyak 81% dari 16 sampel air tanah mengalami pertambahan  $\gamma\text{Na}$  yang kuat hubungannya dengan pertambahan  $\gamma\text{Cl}$ . Sebaran spasial  $\gamma\text{Na}$  dan  $\gamma\text{Cl}$  (Gambar 8) menunjukkan bahwa sistem akuifer tertekan atas (40 - 140 mbmt) di bagian utara CAT Jakarta didominasi



Gambar 7. Grafik perubahan nilai  $\gamma\text{Na}$  terhadap nilai  $\gamma\text{Cl}$ .

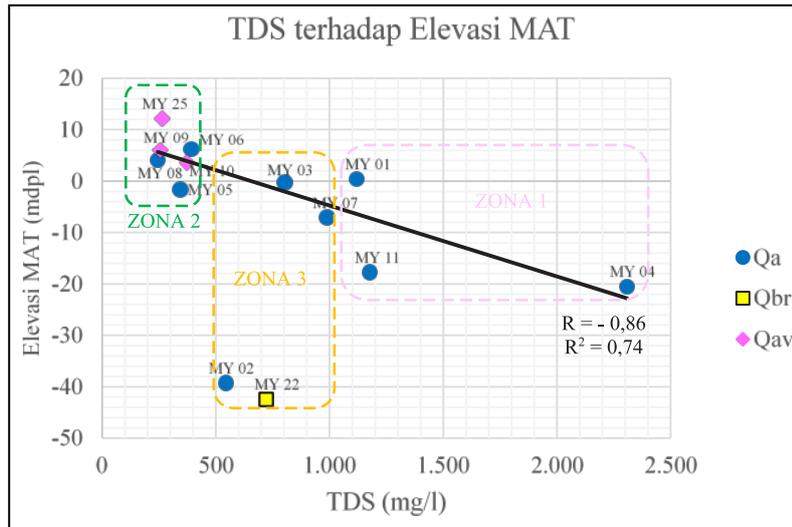


Gambar 8. Zonasi rasio  $\gamma\text{Na}/\gamma\text{Cl}$  air tanah tertekan atas (40 - 140 mbmt) di bagian utara CAT Jakarta.

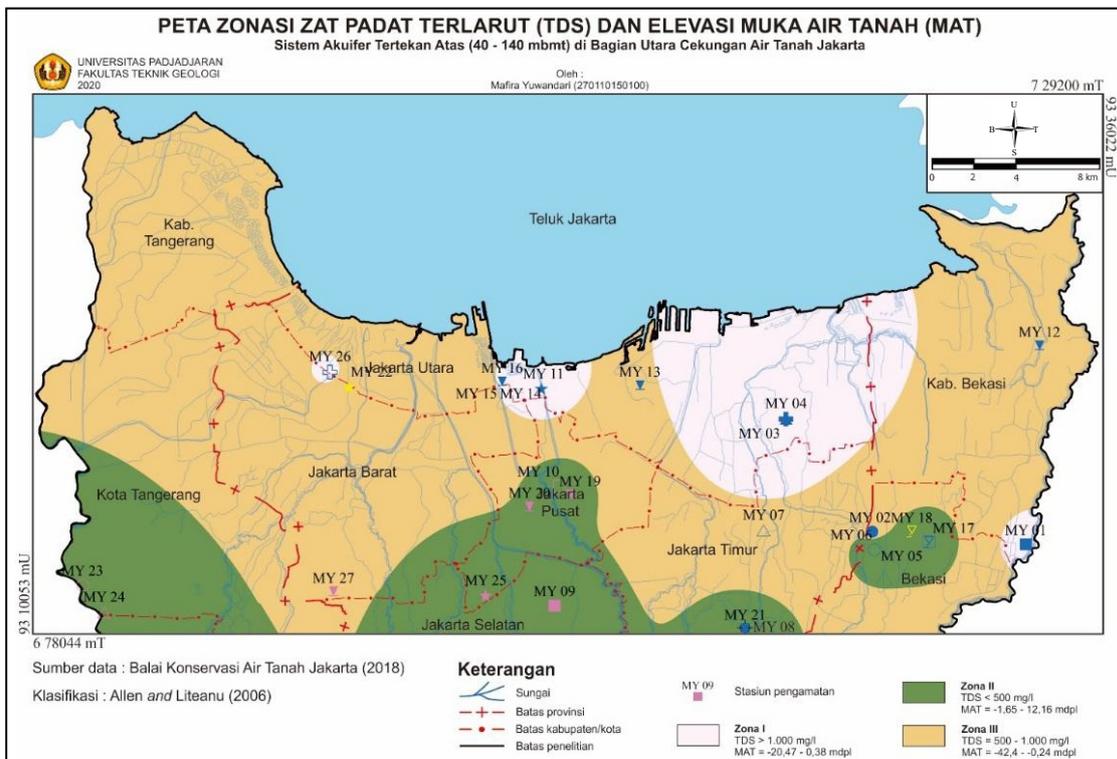
oleh zona hijau ( $\gamma\text{Na}/\gamma\text{Cl} > 1$ ), artinya proses yang dominan terjadi di daerah penelitian adalah interaksi antara air tanah dengan batuan.

TDS dan elevasi MAT memiliki hubungan yang linier negatif dengan nilai  $R = -0,86$  dan  $R^2 = 0,74$  (Gambar 9), artinya sebanyak 74% dari 11 sampel air tanah (kecuali sampel MY 02 dan

MY 22) mengalami pertambahan nilai TDS yang kuat hubungannya dengan pertambahan kedalaman MAT. Sebaran spasial nilai TDS dan elevasi MAT (Gambar 10) menunjukkan bahwa daerah penelitian didominasi oleh zona 3 (Allen and Liteanu, 2006) yang berwarna kuning (TDS = 500 - 1.000 mg/l dan MAT sebesar -42,4



Gambar 9. Grafik perubahan nilai TDS terhadap elevasi muka air tanah.

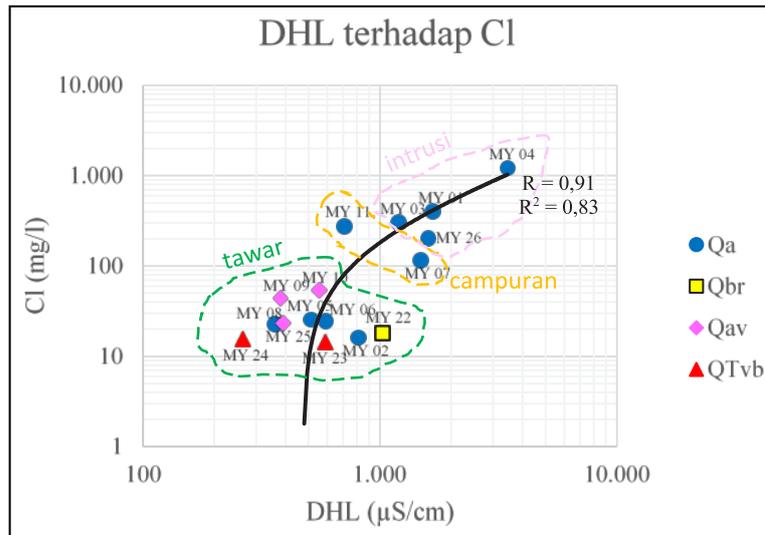


Gambar 10. Zonasi TDS dan elevasi muka air tanah tertekan atas (40 - 140 mbmt) di bagian utara CAT Jakarta.

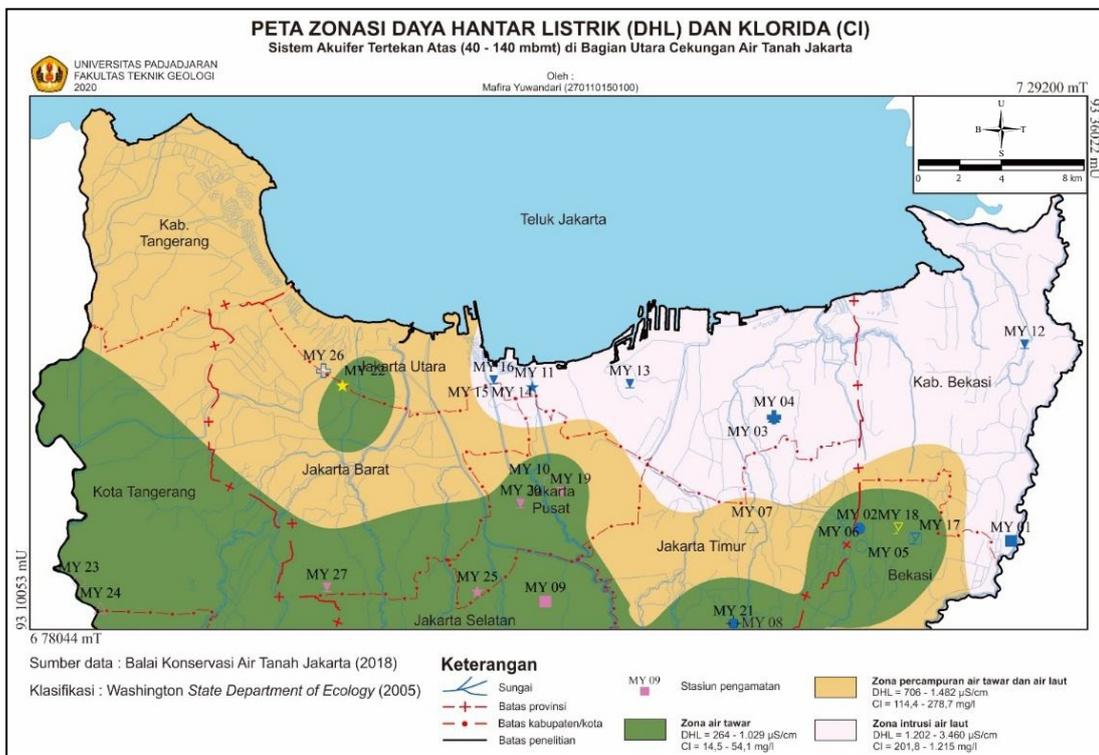
hingga -0,24 mdpl ), artinya proses tukar kation dan intrusi air laut terjadi bersamaan di bagian utara CAT Jakarta.

DHL dan Cl memiliki hubungan yang linier positif dengan nilai  $R = 0,91$  dan  $R^2 = 0,83$  (Gambar 11), artinya sebanyak 83% dari 16 sampel air tanah mengalami pertambahan DHL

yang kuat hubungannya dengan pertambahan Cl. Sebaran spasial DHL dan Cl (Gambar 12) menunjukkan bahwa sistem akuifer tertekan atas (40 - 140 mbmt) di bagian utara CAT Jakarta didominasi oleh zona air tawar yang berwarna hijau (DHL = 264 - 1.029  $\mu\text{S/cm}$  dan Cl = 14,5 - 54,1 mg/l).



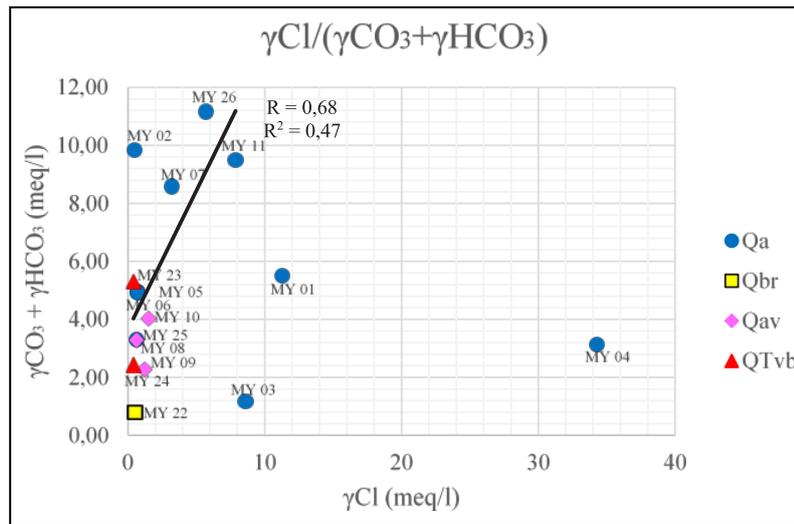
Gambar 11. Grafik perubahan nilai DHL terhadap nilai Cl.



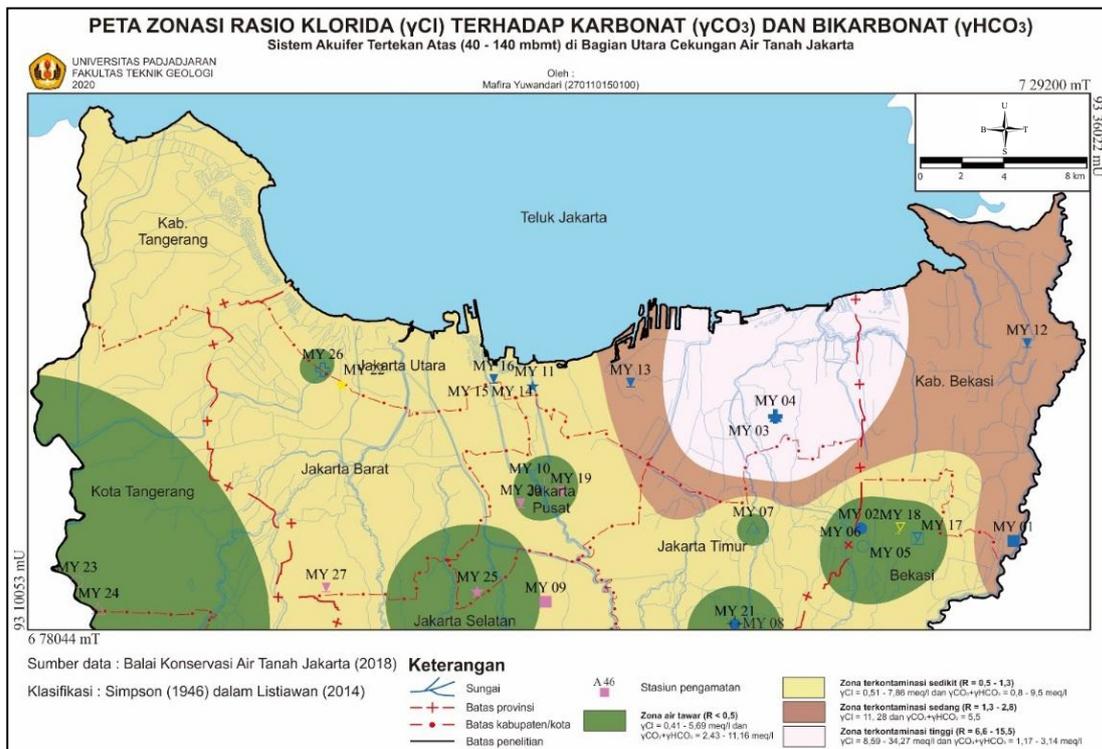
Gambar 12. Zonasi DHL dan Cl air tanah tertekan atas (40 - 140 mbmt) di bagian utara CAT Jakarta.

$\gamma\text{Cl}$  dan  $\gamma\text{CO}_3+\gamma\text{HCO}_3$  umumnya memiliki hubungan yang linier positif dengan nilai  $R = 0,68$  dan  $R^2 = 0,47$  (Gambar 13), artinya sebanyak 47% dari 13 sampel air tanah (kecuali MY 01, MY 03, dan MY 04) mengalami penambahan  $\gamma\text{Cl}$  yang kuat hubungannya dengan pertam-

bahan  $\gamma\text{CO}_3+\gamma\text{HCO}_3$ . Sebaran spasial  $\gamma\text{Cl}$  dan  $\gamma\text{CO}_3+\gamma\text{HCO}_3$  (Gambar 14) menunjukkan bahwa sistem akuifer tertekan atas (40 - 140 mbmt) di bagian utara CAT Jakarta didominasi oleh zona terkontaminasi sedikit air laut yang berwarna kuning ( $R = 0,5 - 1,3$ ), artinya sebagian besar



Gambar 13. Grafik perubahan nilai  $\gamma\text{Cl}$  terhadap nilai  $\gamma\text{CO}_3+\gamma\text{HCO}_3$ .

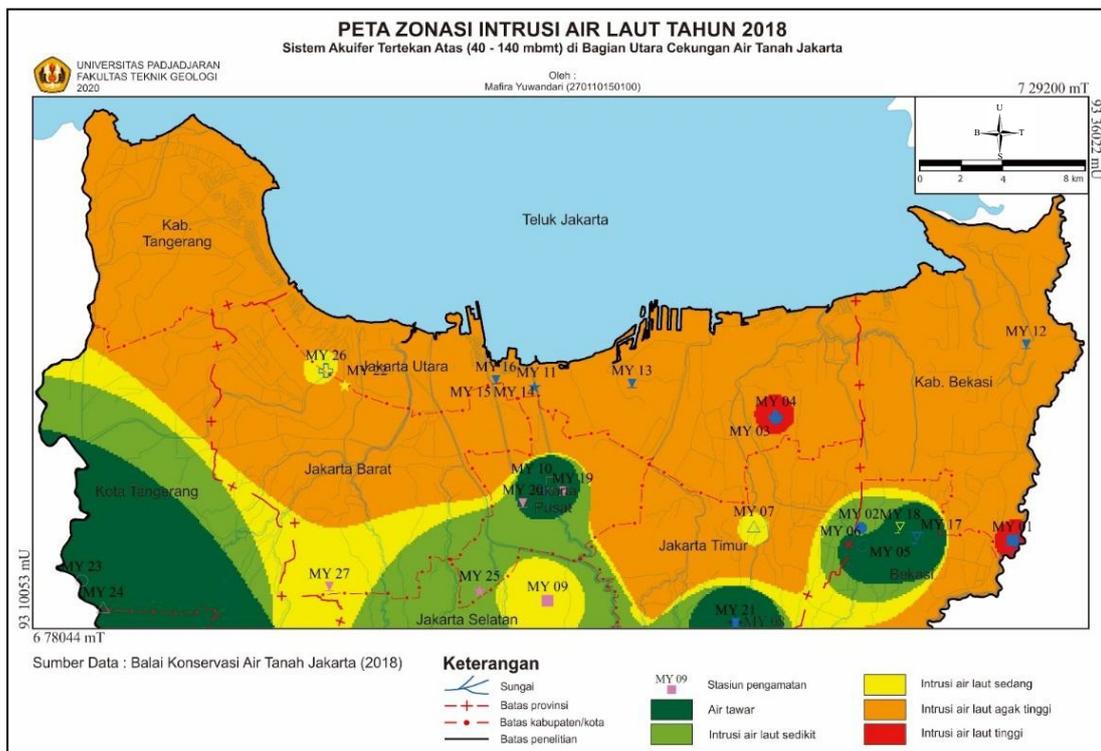


Gambar 14. Zonasi  $\gamma\text{Cl}/(\gamma\text{CO}_3+\gamma\text{HCO}_3)$  air tanah tertekan atas (40 - 140 mbmt) di bagian utara CAT Jakarta.

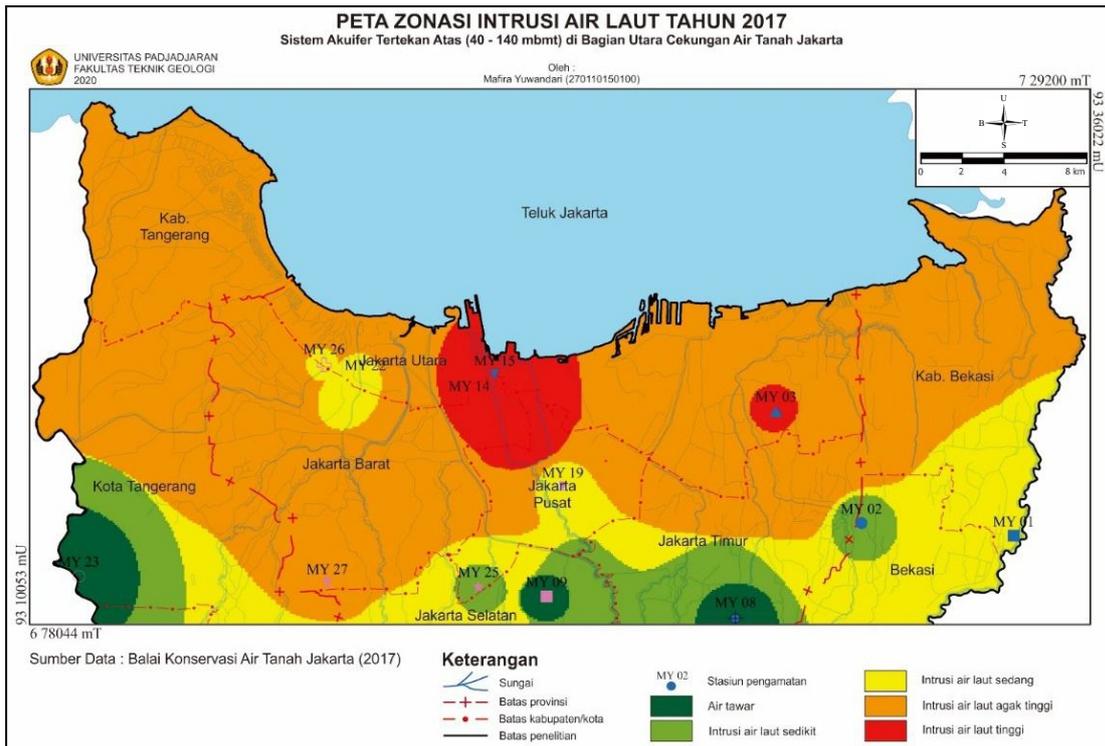
daerah penelitian mulai terintrusi oleh air laut. Indikasi adanya intrusi air laut ini juga sudah pernah diidentifikasi oleh Martosuparno drr. (2015) dimana air tanah tertekan atas di beberapa lokasi memiliki tipe air  $\text{CaCl}_2$  dan  $\text{NaCl}$  namun tipe anion bikarbonat masih mendominasi sistem akuifer tertekan atas. Lubis drr. (2015) juga menyimpulkan bahwa intrusi air laut sudah mempengaruhi kualitas air tanah di sistem akuifer tertekan atas namun luasan daerah yang terdampak intrusi harus ditentukan dengan hati-hati karena berkaitan dengan kehadiran keluaran air tanah lepas pantai (KALP). Penelitian ini memperkirakan luasan daerah yang terintrusi air laut menggunakan parameter Na, Cl, TDS, elevasi MAT, DHL,  $\text{CO}_3$ , dan  $\text{HCO}_3$  dengan cara menumpang-susun peta yang telah dibuat dari parameter tersebut.

Hasil *overlay* dari peta rasio  $\gamma\text{Na}/\gamma\text{Cl}$ , TDS terhadap elevasi MAT, DHL terhadap Cl, dan  $\gamma\text{Cl}/(\gamma\text{CO}_3 + \gamma\text{HCO}_3)$  menghasilkan peta zonasi intrusi air laut (Gambar 15) yang terdiri dari 5 zona yaitu zona air tawar, zona intrusi air laut sedikit, zona intrusi air laut sedang, zona intrusi air laut agak tinggi, dan zona intrusi

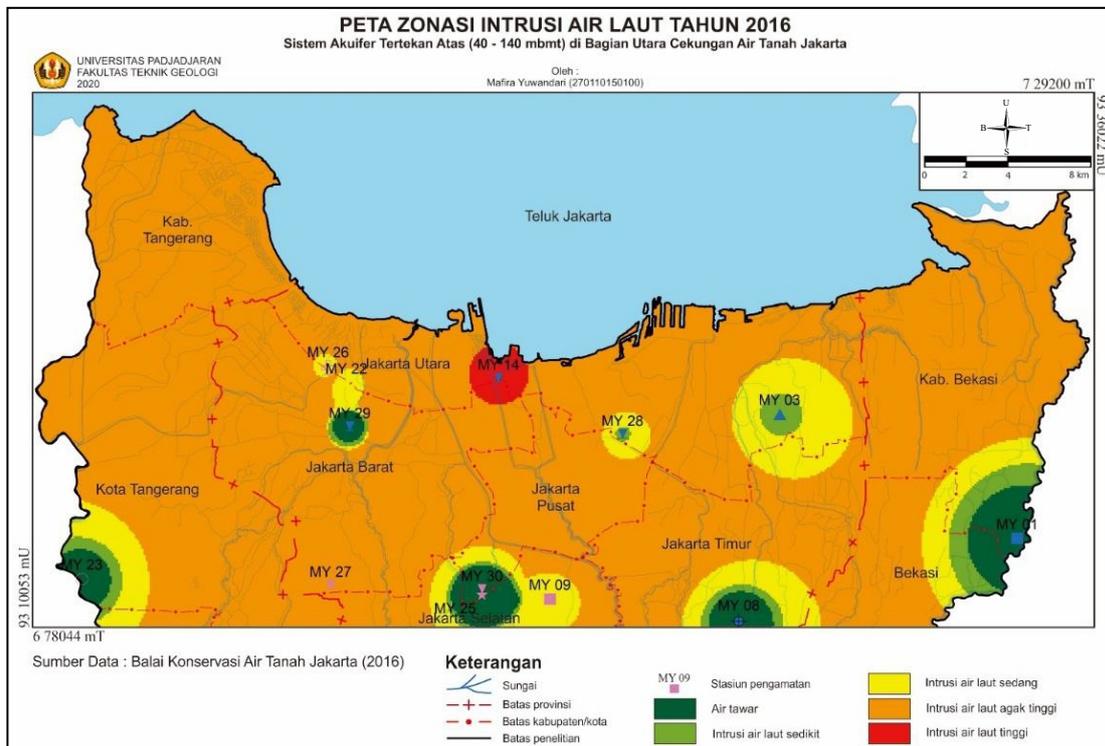
air laut tinggi. Zona-zona tersebut mengalami perubahan dari tahun ke tahun berupa penambahan dan pengurangan luas di beberapa daerah, serta perubahan nilai rasio yang menyebabkan perpindahan zona pada suatu daerah (Gambar 16, Gambar 17, dan Gambar 18). Zona air tawar, zona intrusi air laut sedikit, dan zona intrusi air laut sedang cenderung bertambah luas dari tahun ke tahun, sedangkan daerah yang termasuk ke dalam zona intrusi air laut agak tinggi dan tinggi cenderung mengalami pengurangan luas dari tahun ke tahun. Hasil dalam penelitian ini hanya berlaku pada sistem akuifer tertekan atas. Sistem akuifer lain belum tentu memiliki kondisi yang sama dengan sistem akuifer tertekan atas. Berkurangnya luas zona yang mengalami intrusi agak tinggi dan tinggi serta semakin bertambah luasnya zona air tawar menunjukkan bahwa tindakan yang dilakukan oleh pihak BKAT terbukti mampu memperbaiki kondisi air tanah di bagian utara CAT Jakarta. Beberapa tindakan yang dilakukan oleh pihak BKAT adalah pembatasan penggunaan air tanah pada beberapa sumur berdasarkan rekomendasi teknis penggunaan debit



Gambar 15. Zonasi intrusi air laut tahun 2018 pada air tanah tertekan atas (40 - 140 mbmt) di bagian utara CAT Jakarta.



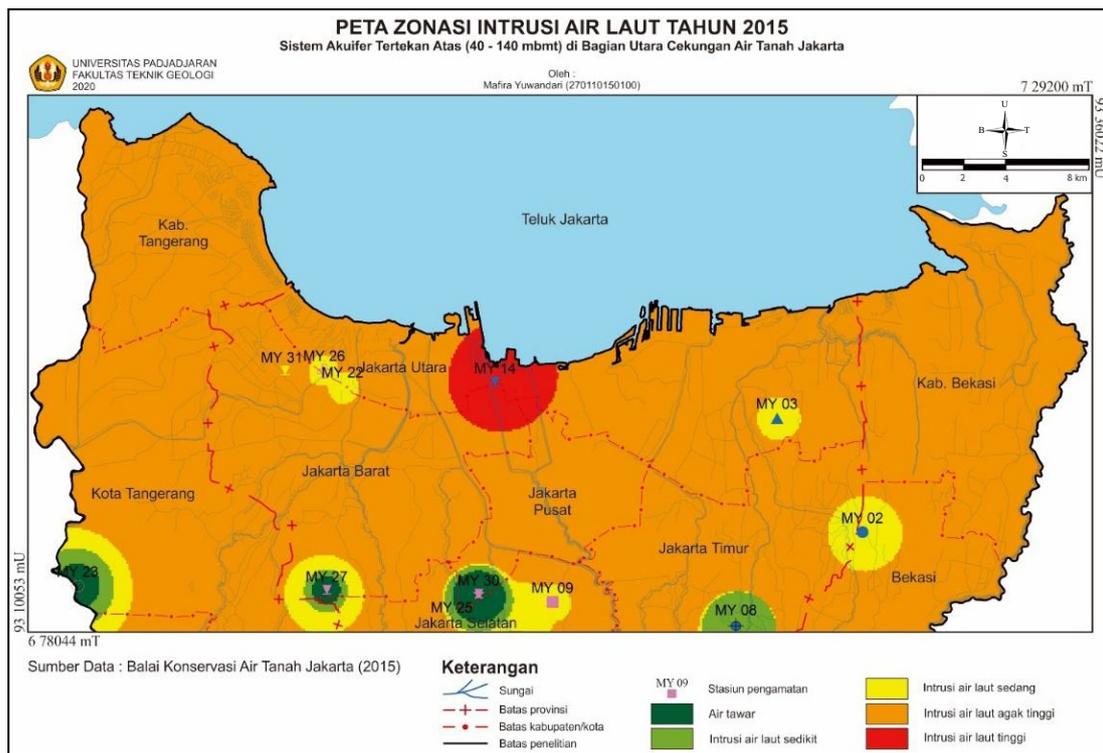
Gambar 16. Zonasi intrusi air laut tahun 2017 pada air tanah tertekan atas (40 - 140 mbmt) di bagian utara CAT Jakarta.



Gambar 17. Zonasi intrusi air laut tahun 2016 pada air tanah tertekan atas (40 - 140 mbmt) di bagian utara CAT Jakarta.

air tanah, memperkecil debit pemompaan pada sumur produksi yang melakukan perpanjangan

izin, dan tidak memberikan rekomendasi teknis izin sumur baru pada zona rusak.



Gambar 18. Zonasi intrusi air laut tahun 2015 pada air tanah tertekan atas (40 – 140 mbmt) di bagian utara CAT Jakarta.

**KESIMPULAN**

Kondisi muka air tanah tertekan atas (40 - 140 mbmt) pada bagian utara CAT Jakarta umumnya mengalami kenaikan dari tahun 2015 hingga 2018 dengan arah aliran air tanah cenderung mengarah dari selatan ke utara. Air tanah tersebut terbagi menjadi 4 fasies air tanah yaitu Ca-HCO<sub>3</sub>, Na-HCO<sub>3</sub>, Na-Cl, dan *mixed* (Ca-Na-HCO<sub>3</sub>, Na-Ca-HCO<sub>3</sub>, dan Ca-Na-HCO<sub>3</sub>-Cl). Tingkat keasinan air tanah tertekan atas (40 - 140 mbmt) di bagian utara CAT Jakarta terbagi menjadi 2 zona yaitu air tawar dan air tawar-payau. Analisis rasio  $\gamma\text{Na}/\gamma\text{Cl}$  menunjukkan daerah penelitian didominasi oleh proses interaksi air tanah dengan batuan ( $\gamma\text{Na}/\gamma\text{Cl} > 1$ ). Analisis TDS terhadap elevasi MAT menunjukkan bahwa proses tukar kation dan intrusi air laut terjadi bersamaan di bagian utara CAT Jakarta. Analisis DHL terhadap Cl menunjukkan bagian utara CAT Jakarta didominasi oleh air tanah tertekan atas yang bersifat tawar. Analisis rasio  $\gamma\text{Cl}/(\gamma\text{CO}_3+\text{HCO}_3)$  menunjukkan sebagian besar daerah penelitian terkontaminasi sedikit air laut ( $R = 0,5 - 1,3$ ). Analisis rasio  $\gamma\text{Na}/\gamma\text{Cl}$ , TDS terhadap elevasi MAT, DHL terhadap Cl, dan

$\gamma\text{Cl}/(\gamma\text{CO}_3+\text{HCO}_3)$  menghasilkan 5 zona intrusi pada air tanah tertekan atas (40 - 140 mbmt) di bagian utara CAT Jakarta yaitu zona air tawar, zona intrusi air laut sedikit, zona intrusi air laut sedang, zona intrusi air laut agak tinggi, dan zona intrusi air laut tinggi. Zona air tawar, zona intrusi air laut sedikit, dan zona intrusi air laut sedang cenderung bertambah luas dari tahun ke tahun, sedangkan zona intrusi air laut agak tinggi dan tinggi cenderung mengalami pengurangan luas dari tahun 2015 hingga 2018. Berkurangnya luas zona yang mengalami intrusi agak tinggi dan tinggi serta semakin bertambah luasnya zona air tawar menunjukkan bahwa kebijakan yang dilakukan oleh pihak BKAT terbukti mampu memperbaiki kondisi air tanah di bagian utara CAT Jakarta.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Terima kasih kepada seluruh staf Balai Konservasi Air Tanah (BKAT) Jakarta yang telah membantu proses pengambilan data dan memberi masukan selama proses penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Asaoka, A., 1978. *Observational Procedure of Settlement Prediction*, Soils and Foundation, No.4.
- Allen, D. M. and Liteanu, E., 2006. Long-term dynamics of the saltwater-freshwater interface on the Gulf Islands, British Columbia, Canada. *Proceedings of The First International Joint Saltwater Intrusion Conference, SWIM-SWICA Conference, Cagliari, Italy*.
- Badan Pusat Statistik, 2019. *Jumlah penduduk Provinsi DKI Jakarta menurut kelompok umur dan jenis kelamin, 2018-2019*. <https://jakarta.bps.go.id/dynamic-table/2019/09/16/58/jumlah-penduduk-provinsi-dki-jakarta-menurut-kelompok-umur-dan-jenis-kelamin-2018-.html>.
- Klassen, J., D. M. Allen, and D. Kirste, 2014. *Chemical Indicators of Saltwater Intrusion for The Gulf Islands, British Columbia*. Kanada. BC Ministry of Forests, Lands, and Natural Resource Operations and BC Ministry of Environment.
- Listiawan, Y., 2014. *Kajian Potensi Intrusi Air Laut Berdasarkan Karakteristik Hidrokimia Airtanah di Daerah Karangwuni Kecamatan Wates Kabupaten Kulon Progo Provinsi D.I. Yogyakarta*. Skripsi. Sumedang.
- Lubis, R. F., H. Bakti, A. Suriadarma, S. Onodera, dan M. Saito., 2015. Keluaran air tanah lepas pantai (KALP). Hal. 205-226 *dalam* Ancaman Bawah Permukaan Jakarta: Tak Terlihat, Tak Terpikirkan, dan Tak Terduga. LIPI Press. Jakarta.
- Martosuparno, S., D. Suherman, dan M. Kagabu, 2015. Kualitas air tanah Cekungan Jakarta. Hal. 159-204 *dalam* Ancaman Bawah Permukaan Jakarta: Tak Terlihat, Tak Terpikirkan, dan Tak Terduga. LIPI Press. Jakarta.
- Matahelumual, B. C., 2010. Kajian kondisi air tanah Jakarta tahun 2010. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi, Vol. 1(3):131-149*. DOI: 10.34126/jlbg.v1i3.
- Matthess, G. and J. C. Harvey, 1982. *The Properties of Groundwater*. Canada: John Wiley & Sons.
- PAM Jaya. 2019.
- Piper, 1944. *A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses*. DOI: 10.1029/TR025i006p00914.
- Prayogi, T. E., H. Gunawan, dan M. S. D. Hadrian, 2018. Kondisi air tanah di wilayah utara cekungan air tanah Jakarta. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Ke-3 Perhimpunan Ahli Air Tanah Indonesia*, hlm. 22-35.
- Setiawan, T., 2014. Proses hidrogeokimia pengontrol salinitas air tanah tidak tertekan di utara cekungan air tanah Jakarta. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, Vol. 5(1): 39-51. DOI: 10.34126/jlbg.v5i1.
- Setiawan, T., E. Yermia, B. J. Purnomo, dan H. Tirtomihardjo, 2017. Intrusi air laut pada sistem akuifer tertekan cekungan air tanah Jakarta berdasarkan analisis hidrokimia dan hidroisotop. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*, Vol. 27 (1): 1-14. DOI: 10.14203/risetgeotam2017.v27.430.
- Singhal, B. B. S. and R. P. Gupta, 2010. *Applied Hydrogeology of Fractured Rocks Second Edition*. New York. Springer. 408 pp.
- Tirtomihardjo, H. dan Setiawan, T., 2013. *Penyelidikan Konservasi (Konfigurasi-Potensi-Zona Konservasi) Air Tanah CAT Jakarta*. Laporan Nomor 215/LAP-BGE.P2K/2013. Bandung. Pusat Sumber Daya Air Tanah dan Geologi Lingkungan.
- Todd, D. K. and L. W. Mays, 2005. *Groundwater Hydrology Third Edition*. USA. John Wiley & Sons. 636 pp.
- Turkandi, T., Sidarto, D. A. Agustyanto, dan M. M. P. Hadiwidjoyo, 1992. Peta Geologi Lembar Jakarta dan Kepulauan Seribu, Jawa, Skala 1:100.000. Bandung. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Washington State Department of Ecology, 2005. Water Resource Inventory Area 06 Islands. Seawater Intrusion Topic Paper. Available at: <http://fortress.wa.gov/ecy/publications/SummaryPages/1203271.html> (diakses 13 November 2019).
- Yusniyanti, E. dan Kurniati, 2017. Analisa puncak banjir dengan metode MAF (studi kasus

- Sungai Krueng Keureuto). *Jurnal Einstein*, Vol. 5(1): 7-12. DOI: 10.24114/einstein.v5i1.7224.
- Setiawan, T., 2014. Proses hidrogeokimia pengontrol salinitas air tanah tidak tertekan di utara cekungan air tanah Jakarta. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, Vol. 5(1): 39-51. DOI: 10.34126/jlbg.v5i1.
- Zahra, F. S, L. M. Rahmah, dan T. T. Putranto, 2018. Penyusunan zona intrusi berdasarkan hidrokimia airtanah pesisir Rowosari, Kabupaten Kendal, Jawa Tengah. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Ke-3 Perhimpunan Ahli Air Tanah Indonesia*, hal. 220-229.