

Analisis Intrusi Air Laut Pada Sistem Akuifer Tertekan Cekungan Air Tanah Jakarta Berdasarkan Data Hidrogeokimia dan Hidroisotop***Analysis of Seawater Intrusion In The Confined Aquifer System of Jakarta Groundwater Basin Based on Hydrogeocemistry and Hydroisotop Data***Faizal Abdillah^{1,2}, Irwan Iskandar¹, dan Taat Setiawan²¹Magister Teknik Air Tanah, Fakultas Ilmu Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung
Jl Let. Jen. Purn. Dr. (HC). Mashudi No. 1 Sumedang – Jawa Barat, Indonesia²Balai Konservasi Air Tanah, Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan, Badan Geologi, KESDM
Jl. Tongkol No.4, Kel. Ancol, Kec. Pademangan, Jakarta Utara 14430, Indonesia

e-mail: 22723005@mahasiswa.itb.ac.id , faizalabdillah@esdm.go.id

Naskah diterima 16 Juni 2024, selesai direvisi 28 Agustus 2024, dan disetujui 30 Agustus 2024

ABSTRAK

Isu intrusi air laut pada daerah pesisir sering dikaitkan dengan penggunaan air tanah yang berlebihan. Cekungan Air Tanah (CAT) Jakarta pada bagian utara juga merupakan daerah pesisir dan secara hidrogeologi berbatasan dengan Teluk Jakarta. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui intrusi air laut di pesisir CAT Jakarta dengan data terbaru melalui analisis hidrogeokimia dan hidroisotop. Berdasarkan hasil analisis hasil 35 sampel yang diuji anion kation dan isotop ¹⁸O dan ²H dari sumur pengamatan terdapat air tanah yang bersifat asin dan terindikasi intrusi air laut (*Total Dissolve Solid (TDS)* >1000 mg/L, rasio Na/Cl < 1, dan rasio Cl/HCO₃ > 0.55) berada pada enam sumur pengamatan dengan rincian empat pada sistem akuifer tertekan atas (40-140 m) dan dua pada sistem akuifer tertekan tengah (140-250 m). Untuk perhitungan besar nilai pencampuran air tanah dengan air asin menggunakan analisis nilai isotop didapatkan hasil pencampuran sebesar 5.55 – 51.94% dengan jarak bervariasi dari 0.4 – 4.5 km dari garis pantai.

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

The issue of seawater intrusion in coastal areas is often associated with excessive use of groundwater. The northern part of the Jakarta Groundwater Basin is also a coastal area with Jakarta Bay as a hydrogeological boundary. This research was conducted to determine seawater intrusion on coast of the Jakarta GWB using the latest data and analyzed using hydrogeochemical and hydroisotope methods. Based on the study of the results of 35 samples tested for cation anions and ¹⁸O and ²H isotopes from observation wells there was groundwater that was salty and indicated seawater intrusion. (*TDS* >1000 mg/L, Na ratio /Cl < 1, and Cl/HCO₃ ratio > 0.55) is in six observation wells with details of four in the upper confined aquifer system (40-140 m) and two in the middle confined aquifer system (140-250 m). To calculate the value of mixing groundwater with water using isotope value analysis, the mixing results obtained were 5.55 – 51.94% with a distance varying from 0.4 – 4.5 km from the coastline.

Keywords: Jakarta groundwater basin, hydrochemistry, hydroisotope, seawater intrusion**PENDAHULUAN**

Cekungan Air Tanah (CAT) Jakarta merupakan salah satu CAT yang mengalami dinamika kondisi air tanah cukup tinggi dikarenakan air tanah pada CAT ini menunjang aktivitas

hidup daerah paling padat di Indonesia, yaitu Jakarta dan kota-kota sekitarnya. Penggunaan air tanah dimulai pada tahun 1950an dan terus mengalami peningkatan yang sehingga menyebabkan penurunan muka air tanah pada akuifer

tertekan sampai dengan awal 1970-an (Djaeni *et al*, 1986). Kemudian laju penurunan muka air tanah mengalami penurunan drastis sampai 1985 dan setelah itu penurunan relatif berkurang sampai 2013 (Tirtomihardjo dan Setiawan 2013). Menurut data Balai Konservasi Air Tanah sampai tahun 2022 muka air tanah cenderung mengalami perbaikan karena menunjukkan kenaikan di beberapa lokasi.

Turunnya muka air tanah terutama di kawasan pesisir akan menyebabkan tekanan hidrostatik berkurang yang kemudian akan berdampak terjadinya intrusi air laut. Melihat perkembangan penggunaan air tanah di CAT Jakarta, penelitian keberadaan air asin di CAT Jakarta telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya dengan berbagai kesimpulan, baik terkait genesa, jarak dan luasan, maupun benar tidaknya keberadaan air asin karena adanya intrusi.

Tirtomihardjo (1994) berpendapat bahwa intrusi air laut hanya terjadi pada akuifer tertekan, sedangkan air payau pada akuifer bebas lebih dikarenakan oleh reaksi air-batuan dan keberadaan tambak air payau. Hal ini diperkuat oleh Hadi-purwo, S. 1996 bahwa pada akuifer tertekan, pencemaran air asin terjadi karena rembesan dari akuifer dangkal. Perkiraan genesa lain yang menyebabkan bertambahnya sebaran air payau di CAT Jakarta yaitu : 1) air fosil, 2) reaksi air-batuan, dan 3) tambak ikan yang menggunakan air payau (Setiawan *et al*, 2017).

Penelitian tentang keberadaan air asin di pesisir CAT Jakarta juga telah banyak dilakukan. Melalui analisis karakteristik kimia, konsentrasi klorida dan muka air tanah, Djaeni *et al*, 1986 mengungkapkan adanya intrusi air laut di wilayah pesisir pada kedalaman 0 – 100 m dengan jarak 5 km dari laut. Kemudian Onodera *et al*, 2008 melalui Analisis isotop ^{18}O dan konsentrasi klorida menyimpulkan adanya intrusi air laut dari perbedaan besar nilai kedua parameter tersebut di daerah pesisir. Kagabu *et al*, 2010 menyimpulkan dari beberapa conto air tanah akuifer tertekan di pesisir bahwa sumber klorida berdasarkan rasio $\text{Br}:\text{Cl}$ dan perubahan fasies-

nya adalah sumber antropogenik yaitu air laut.

Kemudian, Setiawan *et al*, 2017 menyatakan intrusi air laut dari hasil analisis hidrokimia dan hidroisotop tingkat pencampurannya sekitar 11-21% dengan jarak kurang dari 3 km dari pantai. Terakhir penelitian terbaru dari Yuwandari *et al* (2020) menyebutkan bahwa telah terjadi penurunan luasan zonasi intrusi air laut di wilayah utara CAT Jakarta dalam kurun waktu 2015 sampai 2018.

Penelitian ini merupakan hasil elaborasi data terbaru untuk menganalisis intrusi air laut di utara CAT Jakarta dengan menggunakan metode hidrogeokimia dan hidroisotop ^{18}O dan ^2H . Terjadi perubahan lokasi indikasi intrusi pada sumur pengamatan juga jarak dari garis pantai serta besaran pencampuran air tanah dengan air laut jika dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya.

Lokasi penelitian secara geografis berada pada CAT Jakarta bagian utara dengan koordinat $106^{\circ} 36' 32,54'' - 107^{\circ} 4' 4,78''$ bujur timur dan $6^{\circ} 0' 43,50'' - 6^{\circ} 16' 12''$ lintang selatan. Secara administrasi terdiri dari tiga provinsi yaitu Provinsi DKI Jakarta, Provinsi Jawa Barat dan Provinsi Banten.

Kondisi geologis di daerah penelitian berdasarkan Turkandi *et al.*, (1992) terdiri dari atas enam satuan litologi berumur Kuarter yaitu; Endapan Sungai Muda (Qa) yang merupakan satuan litologi paling dominan dengan komposisi batuan lempung, lanau, pasir, kerikil, kerakal, dan bongkah. Endapan Satuan Batupasir Tufan dan Konglomeratan (Qav) dengan jenis batuan batupasir tufan, konglomert, tuf, dan breksi. Endapan Pematang Pantai (Qbr) dengan jenis batuan pasir kasar-halus sedikit lempung dan pecahan moluska. Endapan Rawa (Qsd) dengan jenis batuan lempung humusan, lempung gambutan, dan lapisan tipis gambut, Endapan Laut Dangkal (Qnd), dan Tuf Banten (QTvb) dengan jenis batuan tuf, tuf batu apung, dan batupasir tufan (Gambar 1).

Sistem akuifer di CAT Jakarta dikelompokkan



Gambar 1. Peta Geologi dan sebaran sumur pengamatan pada Lokasi Penelitian (Turkandi *et al.*, 1992 dengan modifikasi)

menjadi empat sistem akuifer yaitu akuifer bebas (0-40 mbmt), akuifer tertekan atas (40-140 mbmt), akuifer tertekan tengah (140-250 mbmt) dan akuifer tertekan bawah (>250 mbmt). Pengelompokan ini didasari oleh kesamaan sifat hidraulik pada masing-masing sistem (Poespowardoyo, 1986). Sedangkan Fachri, et al., (2002) mengklasifikasikan CAT Jakarta ke dalam empat zona hidrostratigrafi yaitu yaitu Zona 1 berupa akuifer yang tersusun atas batupasir, konglomerat, dan batulempung, Zona 2 berupa akuifer yang tersusun atas batulempung dengan sisipan pasir, Zona 3 berupa akuifer yang tersusun atas batupasir bersisipan breksi dan batulempung, dan Zona 4 berupa akuifer yang tersusun atas sisipan batupasir dan batulempung.

Hasil identifikasi Poespowardoyo dan Purbohadiwidjono (1975) menyebutkan batuan dasar CAT Jakarta adalah lapisan batulempung Tersier dengan kedalaman 300 m sedangkan edangkan Assegaf (1998), Hutasoit et al. (2000), dan Harsolumakso (2001) menyebutkan bahwa kedalaman batas batuan Tersier – Kuarter pada CAT Jakarta bervariasi pada kedalaman kurang dari 300 m.

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang dilakukan pada penelitian ini adalah melakukan pengukuran sifat kima-fisika air tanah dan pengambilan contoh air di 35 lokasi sumur pengamatan yang mewakili akuifer tertekan di wilayah utara CAT Jakarta (Gambar 1).

Lokasi – lokasi tersebut memiliki data hidrokimia dari hasil uji laboratorium yaitu parameter fisika (DHL dan *TDS*) dan parameter kimia (pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Fe^{2+} , Mn^{2+} , K^+ , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) serta data isotop ^{18}O dan ^2H .

Dalam analisis kimia ion utama, pertama dilakukan perhitungan *charge balance error* untuk mengetahui kualitas data hasil uji laboratorium dengan rumus (Freeze and Cherry, 1979) :

$$\text{CBE} = \frac{\sum Zm_c - \sum Zm_a}{\sum Zm_c + \sum Zm_a} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

Z = valensi ion; m_c = molalitas kation; m_a = molalitas anion

Untuk plot ion kimia dilakukan menggunakan *software Rockwork* sedangkan analisis parameter kimia seperti rasio Na/Cl dan Cl/HCO_3 serta isotop stabil menggunakan *software Microsoft Excel*.

Untuk menghitung besarnya pencampuran

antara air tanah dengan air laut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Pujiindiyati *et al.*, 2012 dalam Setiawan *et al.*, 2017) :

$$\delta^{18}\text{O} = \delta_a^{18}\text{O}X + \delta_b^{18}\text{O}(1-X) \dots\dots\dots (2)$$

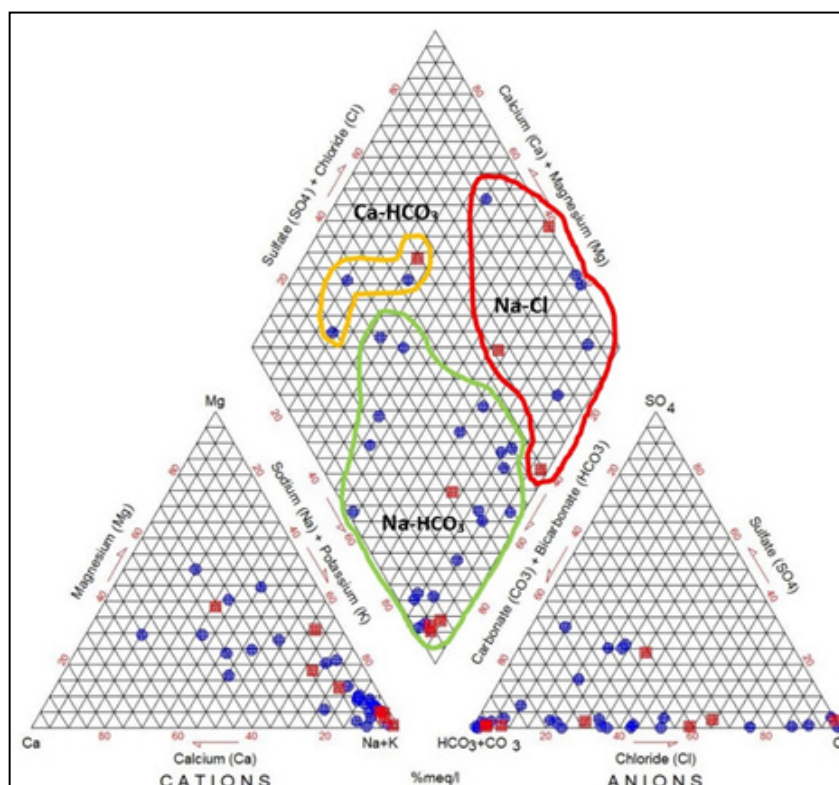
dengan a adalah air laut dan b adalah air tawar. Nilai kandungan isotop ^{18}O dan ^2H yang digunakan untuk air laut di Jakarta sebesar $-0,41\text{‰}$ dan $-6,4\text{‰}$ (Pratikno *et al*, 2009) dan untuk air tanah sebesar $-6,3\text{‰}$ dan -35‰ (Wandowo *et al*) yang di ambil di daerah Bogor (selatan CAT Jakarta). Dengan memasukan nilai kandungan isotop lokasi contoh air, air laut, dan air tawar maka akan dapat diketahui seberapa besar tercampurnya air laut dengan air tanah pada lokasi tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis *Charge Balance Error (CBE)* pada tabel 1, dapat di ketahui dari 35 lokasi sumur akuifer tertekan (kedalaman > 40

m) didapatkan hasil sebanyak 31 lokasi memiliki nilai CBE di bawah 5% dengan rentang nilai 0% – 11% dan rata-rata 3,2% yang dapat diartikan kualitas hasil data hasil uji contoh air baik.

Untuk analisis fasies hidrokimia digunakan diagram trilinier piper (Piper 1944 dalam Clark, 2015). Air tanah pada lokasi penelitian didominasi oleh fasies NaHCO_3 sebanyak 24 lokasi, CaHCO_3 sebanyak 4 lokasi, dan NaCl 7 lokasi. Fasies air tanah pada wilayah penelitian terlihat pada gambar 2 dengan simbol lingkaran biru untuk akuifer tertekan atas dan kotak merah untuk akuifer tertekan atas. Jika di lihat dari persebarannya, Fasies CaHCO_3 relatif berada pada selatan daerah penelitan, fasies NaHCO_3 merata hampir di seluruh wilayah, sedangkan fasies NaCl berada relatif pada bagian utara yang dekat dengan Teluk Jakarta. CaHCO_3 berada di selatan karena merupakan berada dekat dengan daerah imbuhan dan di dominasi litologi pasir yang menandakan air tanah didominasi oleh air tawar. Seiring dengan aliran air tanah ke wilayah utara, terjadi tukar kation antara Ca

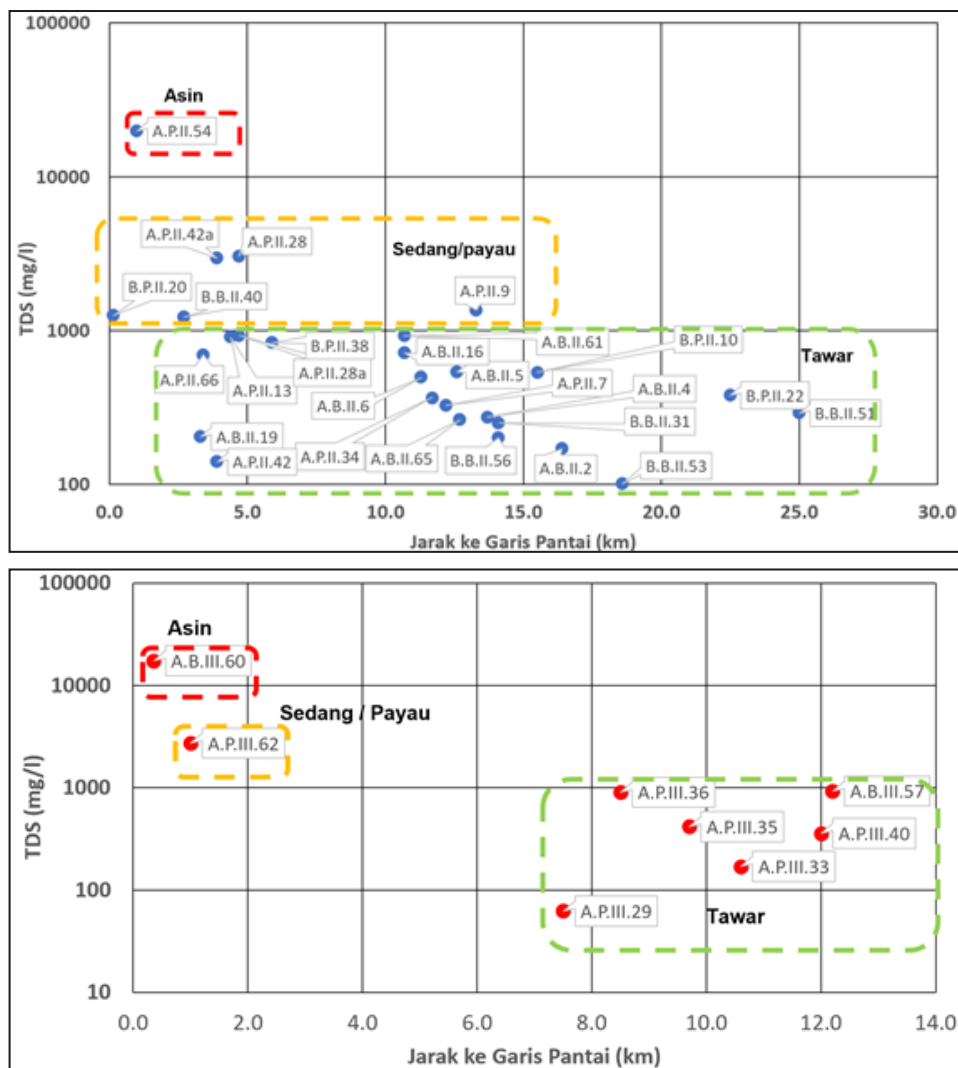


Gambar 2 . Diagram Piper pada sumur pengamatan Akuifer Tertekan Wilayah Penelitian.

Analisis Intrusi Air Laut Pada Sistem Akuifer Tertekan Cekungan Air Tanah Jakarta
Berdasarkan Data Hidrogeokimia dan Hidroisotop

Tabel 1 . Nilai unsur kimia hasil uji laboratorium dan hasil perhitungan *Charge Balance Error*.

Kode Percontoh	TDS	DHL*	pH*	Ca*	Mg*	Na*	Fe	Mn	K	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	CBE
A.B.II.2	170,18	254,00	8,01	32,56	6,08	27,05	18,29	1,07	0,25	0,00	113,70	6,76	27,95	0,46	1,5%
A.B.II.4	272,69	407,00	8,60	5,36	2,92	89,26	0,04	0,03	8,10	9,18	256,69	3,28	2,37	0,54	-0,7%
A.B.II.5	538,01	803,00	8,77	4,24	3,45	170,03	0,35	0,06	7,72	26,93	460,67	3,08	6,72	1,51	-3,5%
A.B.II.6	496,47	741,00	8,00	51,84	29,50	83,89	2,35	1,09	8,83	0,00	389,42	43,93	58,73	0,30	0,9%
A.P.II.7	325,62	486,00	9,32	3,92	1,31	80,86	1,34	0,07	11,98	21,83	188,86	24,10	5,11	0,00	-4,9%
A.P.II.9	1360,10	2030,00	8,48	27,31	33,72	400,86	0,28	0,34	17,74	0,00	782,75	287,76	32,25	0,44	1,0%
A.P.II.13	907,85	1355,00	7,40	45,01	48,31	150,00	1,21	0,13	19,22	0,00	164,94	375,73	3,30	0,61	-0,4%
A.B.II.16	716,90	1070,00	8,69	4,88	4,37	279,02	0,13	0,03	7,62	33,46	681,74	7,06	6,81	0,40	1,2%
A.B.II.19	203,68	304,00	8,38	28,80	8,02	28,41	0,31	0,13	7,46	0,00	108,82	21,87	36,12	2,51	5,1%
A.P.II.28	3048,50	4550,00	11,46	66,32	1,51	919,56	6,14	0,17	24,49	63,65	96,62	1357,80	23,15	1,90	2,0%
A.P.II.28a	924,00	1382,00	10,69	5,79	0,93	290,60	0,45	0,00	6,73	70,20	496,21	205,76	8,90	0,60	-11,0%
A.P.III.29	62,31	93,00	8,01	8,16	3,79	9,44	0,19	0,04	4,17	0,00	29,28	8,35	10,57	3,65	11,2%
A.P.III.30	483,74	722,00	7,91	17,52	8,07	102,25	0,79	0,22	14,56	0,00	199,10	128,72	9,37	0,87	-5,3%
A.P.III.33	169,51	253,00	8,25	5,12	2,48	50,00	0,32	0,03	8,77	0,00	130,78	19,28	2,19	0,46	2,3%
A.P.II.34	363,81	543,00	8,42	3,28	3,01	103,93	6,02	0,10	6,56	0,00	214,23	34,89	66,10	0,43	-5,0%
A.P.III.35	416,74	622,00	9,25	2,10	1,90	135,58	0,49	0,03	9,59	18,36	372,83	5,37	1,35	0,50	-3,7%
A.P.III.36	903,16	1348,00	9,76	2,91	0,68	300,56	0,21	0,02	13,48	29,78	333,30	222,76	2,68	1,15	3,1%
A.P.III.40	357,78	534,00	10,91	2,18	1,51	90,68	0,79	0,03	11,35	54,26	161,53	4,77	2,22	0,66	-1,6%
A.P.II.42	140,03	209,00	7,80	15,19	9,28	10,41	0,46	0,03	7,45	0,00	107,85	11,73	0,00	0,26	1,9%
A.P.II.42a	2960,00	4440,00	6,53	60,90	39,80	856,30	0,00	0,00	32,75	0,00	30,11	1459,90	93,00	0,40	0,9%
A.P.II.54	19899,00	29700,00	7,34	1066,56	130,47	6132,75	12,10	8,08	167,62	0,00	141,52	12315,66	43,10	0,00	-2,2%
A.B.III.57	925,94	1382,00	8,87	6,72	2,87	330,71	3,90	0,09	11,97	23,87	840,34	25,77	4,77	0,79	0,0%
A.B.III.60	17420,00	26000,00	4,37	394,00	622,10	4362,00	162,20	5,12	209,50	0,00	41,50	10521,00	468,25	1,31	-6,1%
A.B.II.61	924,00	1384,00	7,98	16,37	8,21	332,54	0,01	0,06	6,66	0,00	492,87	104,60	178,10	0,00	4,5%
A.B.II.62	2720,00	4080,00	8,10	46,30	9,00	911,20	0,61	0,00	17,40	0,00	973,46	1017,03	6,50	0,00	-1,8%
A.B.II.65	264,00	394,00	7,72	33,32	5,37	51,13	0,00	0,01	3,84	0,00	204,06	19,84	2,80	6,50	4,2%
A.P.II.66	692,00	1033,00	8,70	22,94	1,70	244,91	0,97	0,02	19,37	12,61	589,88	111,81	17,50	5,20	-4,7%
B.P.II.10	533,32	796,00	7,81	8,63	5,73	160,13	1,05	0,02	18,55	0,00	506,89	7,30	7,20	0,42	-1,7%
B.P.II.20	1260,00	1890,00	8,12	17,90	8,64	490,03	0,00	0,02	11,80	0,00	991,31	179,26	5,70	0,00	4,0%
B.P.II.22	378,55	565,00	7,71	4,28	3,16	126,82	0,05	0,02	14,67	0,00	349,26	9,28	7,10	0,00	1,9%
B.B.II.31	251,25	375,00	7,87	2,46	1,94	83,75	0,11	0,01	10,89	0,00	258,42	0,59	0,70	0,00	-0,7%
B.B.II.38	834,82	1246,00	8,40	23,76	18,65	221,99	0,30	0,07	16,66	0,00	515,33	131,80	0,90	4,10	2,3%
B.B.II.40	1220,07	1821,00	8,30	22,54	9,96	346,00	0,44	0,10	15,87	0,00	694,42	246,81	0,00	2,70	-2,7%
B.B.II.51	290,78	434,00	7,14	18,77	10,25	65,23	0,49	0,25	15,44	0,00	334,33	1,88	0,00	0,00	-4,7%
B.B.II.53	100,84	150,50	6,72	13,78	3,35	19,89	0,10	0,00	3,83	0,00	80,06	4,34	26,70	1,96	-2,3%
B.B.II.56	200,33	299,00	7,55	36,60	7,22	11,16	0,05	0,00	6,29	0,00	125,90	24,35	0,00	5,50	3,9%



Gambar 3. (a). Grafik hubungan jarak sumur pengamatan ke garis pantai dengan nilai *TDS* pada sistem akuifer tertekan atas (40-140 m); (b). Grafik hubungan jarak sumur pengamatan ke garis pantai dengan nilai *TDS* pada sistem akuifer tertekan tengah (140-250 m).

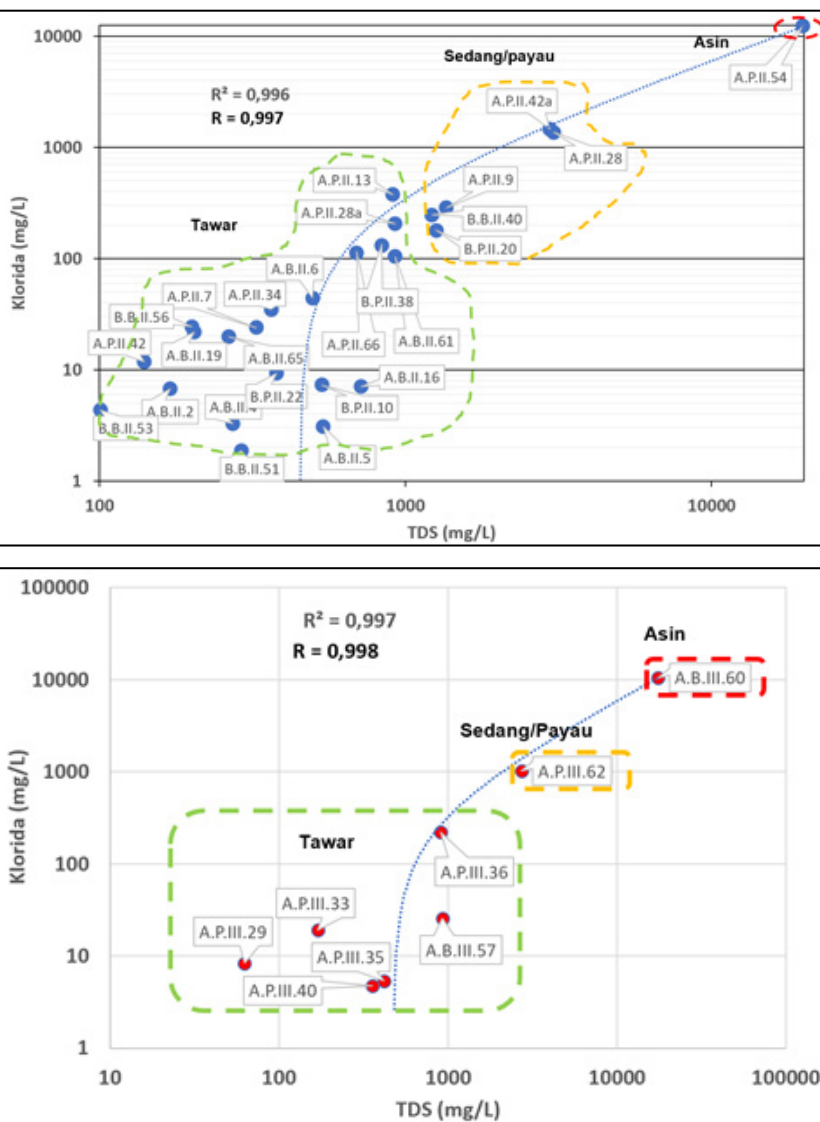
dan Na akibat perubahan litologi karena adanya lanau-lempung sehingga fasies air tanah berubah menjadi NaHCO_3 . Pada wilayah pesisir, terjadi pencampuran dengan air laut yang merubah fasies air tanah menjadi NaCl .

Selain itu parameter penting lain untuk mengetahui tingkat keasinan air tanah adalah *TDS*. Berdasarkan klasifikasi *TDS* menurut Mcneely *et al.*, (1979) (tabel 2), terdapat tiga kategori yaitu *fresh*, *slightly saline*, dan *very saline* karena nilai *TDS* pada wilayah penelitian berkisar dari 62 – 19.899 mg/l.

Pada akuifer tertekan atas (40-140 m) jika melihat pada gambar 3a, nilai *TDS* yang berada

pada >1.000 mg/l berada dekat dari garis Pantai, yaitu kurang dari 5 km. Hanya ada satu lokasi yaitu A.P.II.9 yang memiliki nilai *TDS* >1.000 mg/l dengan jarak lebih dari 5 km. Kenaikan *TDS* ke arah garis pantai berbanding lurus dengan kenaikan ion klorida (gambar 4a) dengan koefisien korelasi 0,997.

Pada akuifer tertekan Tengah (140-250 m) di gambar 3b juga terlihat pola yang sama. Nilai *TDS* tertinggi yaitu 2.720 mg/l berada 1 km dari garis Pantai kemudian semakin jauh nilai *TDS* semakin kecil. Untuk korelasi *TDS* dengan nilai ion klorida di akuifer tertekan tengah (gambar 4b) yaitu 0,997.



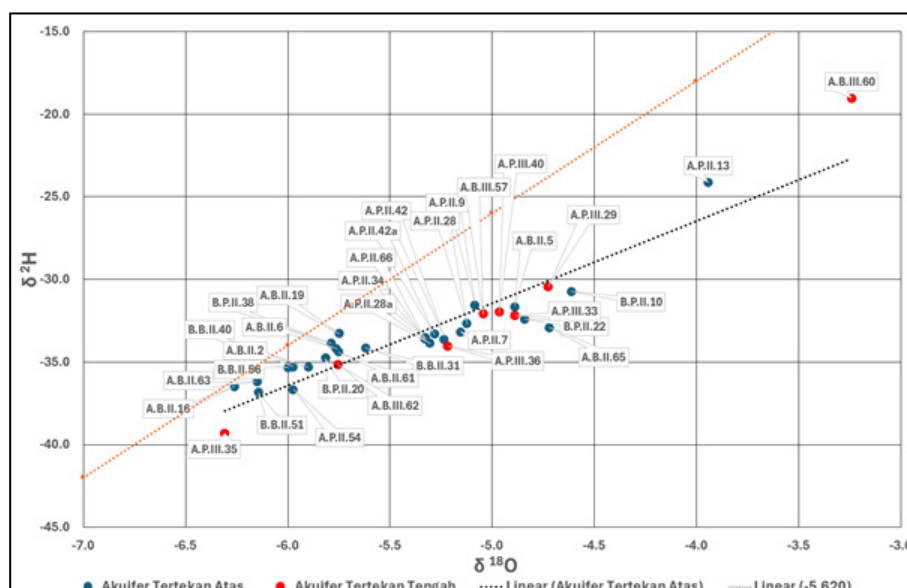
Melalui dua kategori tersebut, dilakukan perhitungan rasio Na/Cl dan Cl/HCO_3 yang dilakukan pada 35 sumur pengamatan. Hasilnya pada rasio Na/Cl terdapat delapan lokasi dengan nilai rasio < 1 yang mengindikasikan adanya intrusi air laut pada sumur pengamatan tersebut. Dari delapan sumur pengamatan yang terindikasi adanya intrusi air laut, ada tiga sumur pengamatan yang berdasarkan hasil perhitungan rasio Cl/HCO_3 memiliki nilai rasio $> 6,6$ dan masuk ke dalam kategori terpengaruh tinggi oleh air laut. Hasil dari rasio Cl/HCO_3 memperkuat indikasi penye-

bab keasinan air tanah pada sumur pengamatan tersebut adalah intrusi air laut. Untuk dapat melihat persebaran dengan lebih jelas dapat dilihat pada gambar 5.

Hasil analisis isotop stabil dari 35 contoh air menunjukkan hasil rentang nilai $\delta^{18}\text{O}$ berada pada $-3,2\text{‰}$ sampai $-6,3\text{‰}$ dan $\delta^2\text{H}$ berada pada rentang -19‰ sampai $-39,3\text{‰}$. Untuk garis meteorik lokal (LMWL) menggunakan hasil dari penelitian Djijono (2002) dalam Setiawan (2017) yaitu $\delta^2\text{H} = 7,9 \delta^{18}\text{O} + 14,1$. Hasil plot seluruh data isotop stabil ini bisa dilihat pada gambar 6.



Gambar 5. Peta Kategori Intrusi Air Asin Berdasarkan Rasio Na/Cl dan Cl/HCO_3 .



Gambar 6. Hasil plot Isotop $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ terhadap Local Meteoric Water Line (LMWL).

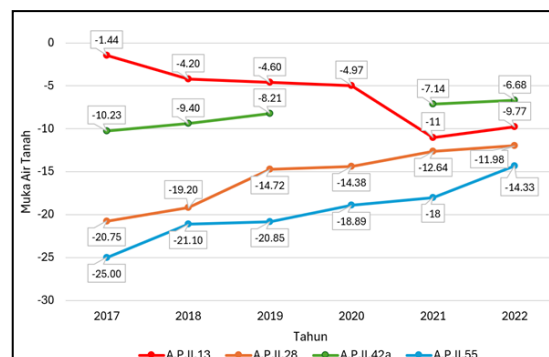
Berdasarkan hasil perhitungan pencampuran air tawar dengan air laut dari ^{18}O dan ^2H , untuk akuifer tertekan atas yang memiliki indikasi intrusi dan terpengaruh air laut dari rasio Na/Cl dan Cl/HCO_3 sebesar 5,55% sampai 40% dengan jarak paling jauh 4,6 km dari garis pantai. Sedangkan pada akuifer tertekan tengah, pencampuran sebesar 9,28% pada A.B.III.62 dan 51,94% pada A.B.III.60. Untuk data selengkapnya dari masing-masing analisis dapat di lihat pada tabel 4.

Jika melihat data pengukuran muka air tanah pada sumur akuifer tertekan atas yang dilakukan dalam kurun waktu lima tahun terakhir (gambar 7), hanya satu lokasi yang mengalami penurunan muka air tanah dari tahun ke tahun yaitu daerah Buni Bakti, Kab. Bekasi (A.P.II.13) yang berjarak 4,5 km dari garis pantai. Hal ini sejalan dengan perkembangan daerah yang cukup pesat dalam lima tahun terakhir sehingga perlu diadakan studi lebih lanjut terkait dengan kondisi alami dan pemakaian air tanah di daerah A.P.II.13. Walaupun nilai *TDS* berada di bawah 1.000 mg/l, namun parameter lain seperti rasio Na/Cl dan Cl/HCO_3 menunjukkan adanya intrusi. Selain itu, tingkat pencampuran air tanah dengan air laut dari data isotop juga berada pada persentase tertinggi yaitu 40,02 % di antara sumur pengamatan akuifer tertekan atas lainnya.

Sedangkan lokasi lainnya seperti Cilincing (A.P.II.28), Sunter (A.P.II.42a), dan Tongkol (A.P.II.54) yang juga relatif dekat dengan garis pantai ($< 4,5$ km) cenderung mengalami kenaikan muka air tanah. Pada wilayah DKI Jakarta

memang diterapkan penggunaan air perpipaan sebagai prioritas sumber air bersih dapat terlihat adanya pemulihan muka air tanah yang dapat dilihat pada gambar 7. Adanya intrusi air laut pada ketiga sumur di sistem akuifer tertekan atas ini dibuktikan oleh seluruh parameter hasil analisis nilai *TDS*, rasio Na/Cl , Cl/HCO_3 pada tabel 4 dan di tambah dengan hasil nilai isotop ^{18}O dan ^2H yang menggambarkan adanya intrusi air laut dengan pencampuran 5,5% – 40%.

Pada akuifer tertekan tengah dengan posisi saringan lebih dalam dari 150 m, muka air tanah pada Tongkol X (A.P.III.62) cenderung stabil dan masih mengalir tanpa pemompaan (*artesian well*). Untuk sumur bor produksi di Cilincing (A.B.III.60) tidak dapat dilakukan pengukuran muka air tanah. Namun melalui analisis parameter *TDS*, rasio Na/Cl , Cl/HCO_3 dan nilai isotop ^{18}O dan ^2H memiliki hasil bahwa kedua sumur ini menunjukkan adanya intrusi, bahkan pada sumur A.B.III.60 hasil pencampuran air tanah



Gambar 7. Perubahan muka air tanah di sumur pengamatan yang mencirikan intrusi dalam lima tahun terakhir.

Tabel 4. Indikasi Intrusi Air Laut dengan besaran pencampuran pada sumur pengamatan

Kode Percontoh	Lokasi	Saringan	<i>TDS</i>	Na/Cl	Cl/HCO_3	Pencampuran (%)	Jarak Ke Pantai (km)
A.P.II.13	SP Buni Bakti	81-87	908	0,40	2,28	40,02	4,5
A.P.II.28	SP Cilincing (KBN Cilincing) 100 m	64-72	3.048	0,68	14,05	19,98	4,5
A.P.II.42a	SP Masjid Nurussyfa II	72.5-75.5	2.960	0,59	48,49	17,28	3,9
A.P.II.54	SP Tongkol 2015	90-102 , 126-132	19.899	0,50	87,02	5,55	1
A.P.III.62	SP Tongkol X	210-245	2.720	0,90	1,04	9,28	1
A.B.III.60	SBP Cilincing	>150	17.420	0,41	253,52	51,94	0,4

*SP = Sumur Pantau

SB = Sumur Bor Produksi

dan air asin sebesar 51,95%. Melihat kondisi kedua sumur yang merupakan sumur dengan posisi saringan >150 m dan berada pada jarak ≤ 1 km dari garis pantai, ada kemungkinan kondisi alami air tanah dari sumur tersebut telah menemui zona dispersi antara air tanah dan air laut (garis *Ghyben-Herzberg*) sehingga terjadi pencampuran dengan air laut.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini, intrusi air laut di analisis melalui beberapa parameter yaitu nilai *TDS* > 1.000 mg/l, rasio $\text{Na/Cl} < 1$, $\text{Cl/HCO}_3 > 0,55$ dan isotop ^{18}O dan ^2H . Hasil analisis menunjukkan terdapat empat sumur pengamatan pada sistem akuifer tertekan atas dan dua sumur pengamatan pada sistem akuifer tertekan tengah yang mengalami intrusi air laut di wilayah utara CAT Jakarta. Intrusi air laut dengan pada akuifer tertekan atas (40-140 m) terjadi sampai jarak < 4,5 km dari pantai dengan pencampuran 5,55 – 40,02 % pada lokasi Buni Bakti (Kab. Bekasi), Cilincing, Sunter, dan Pademangan. Untuk akuifer tertekan tengah (140-250 m) intrusi air laut terjadi pada jarak < 1 km dari pantai dengan pencampuran 9,28% pada sumur pantau Pademangan dan 51,94 % pada sumur bor produksi Cilincing.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar - besarnya Balai Konservasi Air Tanah yang telah menyediakan data untuk keperluan tulisan ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Dewan Redaksi yang telah menerbitkan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

Assegaf, A., 1998. Hidrodinamika Airtanah Alamiah Cekungan Jakarta, Tesis Magister, Dep. Teknik Geologi ITB.
Clark, I. (2015). Groundwater Geochemistry and Isotopes (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b18347>

Djaeni, A., Hobler, M., Schmidt, G., Soekardi, P. and Sofner, B., 1986. Hydrological Investigations in the Greater Jakarta Area of Indonesia. Salt Water Intrusion Meeting, Delft, The Netherlands, pp. 165-176.
Djijono, 2002. Intrusi Air Laut Pada Air Tanah Dangkal di Wilayah DKI Jakarta. Institut Pertanian Bogor, Bogor, 115 pp.
Fachri, M., Djuhaeni, Hutasoit, L. M., dan Ramdhan, A. M., 2002. Stratigrafi dan Hidrostratigrafi Cekungan Airtanah Jakarta. Buletin Geologi, 34 (3), 169189.
Freeze & Cherry, 1979. Groundwater Hydrology. Prentice-Hall.
Hadipurwo, S. 1997. Pencemaran Air Asin di daerah Jakarta. Buletin Geologi Tata Lingkungan. No. 8:41-63, Maret.
Harsolumakso, A. H., 2001. Tinjauan Struktur Geologi Terhadap Daerah Genangan, Kumpulan Makalah Seminar Sehari: Tinjauan Geologi Terhadap Daerah Genangan di Wilayah Propinsi DKI Jakarta.
Hutasoit, L. M., Yulianto, E., dan Pindratno, M.H., 2000. Tertiary-Quaternary Boundary in Jakarta and Some of Its Implications on Environmental Geologic Management, Prosiding IAGI 29 th Ann. Conv., Bandung, 3, 123 – 129.
Kagabu, M., Delinom, R. M., Lubis, R. F., Shimada, J., dan Taniguchi, M. 2010. Groundwater Characteristics in Jakarta Area, Indonesia., Riset Geologi dan Pertambangan. DOI: 10.14203/risetgeotam2010.v20.35
McNeely, R.N., Neimanis, V.P., and Dwyer, L. (1979): Water Quality Sourcebook, A Guide to water Quality parameter. Inland waters Directorate, Water Quality Branch; Ottawa, Canada.
Onodera, S., Saito, M., Sawano, M., Hosono, T., Taniguchi, M., Shimada, J., Umezawa, Y., Lubis, R.F., Buapeng, S. and Delinom, R., 2008. Effects Of Intensive Urbanization on the Intrusion of Shallow Groundwater Into Deep Groundwater: Examples from Bangkok and Jakarta. Science of The Total Environment, 404, 401-410. DOI: 10.1016/j.

- scitotenv.2008.08.003
- Pujiindiyati, E. R., Adi, N. S., dan Rustam, A., 2012. Studi Isotop Oksigen-18 dan Deuterium Pada Air Laut di Teluk Banten, Jurnal Teknologi Lingkungan, Edisi Khusus “Hari Bumi”, 123-131.
- Pratikno, B., Abidin, Z., Sidauruk, P., dan Satrio, 2009. Aplikasi Isotop Alam ^{18}O , ^2H , dan ^{14}C Untuk Studi Air Tanah di Kepulauan Seribu, Jurnal Ilmiah Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi, 5 (1), 6882. DOI: <http://dx.doi.org/10.17146/jair.2009.5.1.526>
- Prayogi, T. E., 2016. *Groundwater Quality Assessment of Unconfined Aquifer System for Suitable Drinking Determination at Northern Jakarta Groundwater Basin*. Pertemuan Ilmiah Tahunan Perhimpunan Ahli Air Tanah Indonesia 2016
- Poespowardoyo, S., 1986a. Peta Hidrogeologi Indonesia Lembar Jakarta, Jawa, Skala 1 : 250.000, Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Bandung.
- Poespowardoyo, S. dan Purbohadiwidjoyo, M.M., 1975. Cekungan Artosis Jakarta, Jurnal Geologi Indonesia, 2 (1), 25-28.
- Purnomo, H. dan Grahitandaru, A., 1998. Studi Intrusi Air Laut pada Akuifer Bebas di Wilayah DKI Jakarta., Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan IAGI XXVII.
- Revelle, R., 1941. Criteria for Recognition of Sea Water in Groundwater, Trans. Am. Geophys. Union, 22, 593–597. DOI: [10.1029/TR022i003p00593](https://doi.org/10.1029/TR022i003p00593)
- Shammas, M. I., dan Jacks, G., 2007. Sea Water Intrusion in the Salalah Plain Aquifer, Oman. Journal of Environmental Hydrology, 15, 1-14. DOI: [10.1007/s00254-007-0673-2](https://doi.org/10.1007/s00254-007-0673-2)
- 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](https://doi.org/10.14203/risetgeotam2017.v27.430).
- Tirtomihardjo, H., 1994. Intrusi air laut/asin di Jakarta, Simposium Air Jakarta, Pusat Kajian Perkotaan, Universitas Tarumanegara, Jakarta.
- Tirtomihardjo, H. and Setiawan, T., 2013. Penyelidikan konservasi (konfigurasi potensi-zona konservasi) air tanah CAT Jakarta, Pusat Sumber Daya Air Tanah dan Geologi Lingkungan, Bandung.
- Turkandi, T., Sidarto, dan Agustiyanto, D.A., 1992. Peta Geologi Lembar Jakarta dan Kepulauan Seribu, Sekala 1 : 100.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Wandowo, Abidin, Z., Alip, dan Djiono, 2001. Daerah Resapan Air Tanah Cekungan Jakarta, Risalah Pertemuan Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi, Jakarta.
- Yang He-Hai dan Li Xu-Guang, 2013. Hydrochemical Characteristics and Evolution Laws of Shallow Groundwater in Shuangliao City, Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, 5 (11), 283 – 288. [10.1051/e3sconf/202129002014](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202129002014)
- Yuwandari, M., Iskandarsyah, T. Y. W. M., Barkah, N., Setiawan, T., dan Nababan, J. R. S., 2020. Zonasi Intrusi Air Laut pada Sistem Akuifer Tertekan Atas Cekungan Air Tanah Jakarta, Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi, Bandung. [http://dx.doi.org/10.34126/jlbg.v11i2.310](https://doi.org/10.34126/jlbg.v11i2.310)