

INTRUSI AIR LAUT PADA AKUIFER BEBAS CEKUNGAN AIR TANAH JAKARTA BAGIAN UTARA

SEAWATER INTRUSION IN UNCONFINED AQUIFER AT THE NORTH OF JAKARTA GROUNDWATER BASIN

Wulan Dwi Kusumah Asih¹, Adi Candra¹, Tantowi Eko Prayogi², Januar Aziz Zaenurrohman^{1*}

¹ Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman, Indonesia

² Balai Konservasi Air Tanah (BKAT), Jakarta, Indonesia

*januar.aziz.z@unsoed.ac.id

Diterima : 13-03-2023 , Disetujui : 19-12-2024

ABSTRAK

Cekungan Air Tanah (CAT) Jakarta bagian utara yang termasuk kedalam Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta merupakan dataran aluvial dengan wilayah pertumbuhan penduduk dan industri yang sangat pesat. Aktivitas tersebut mengakibatkan pemanfaatan air bersih akan meningkat. Dampak yang ditimbulkan dari pemanfaatan air tanah secara berlebihan adalah adanya pencemaran air tanah berupa intrusi air asin yang dijumpai di daerah yang berbatasan dengan pantai ke dalam air tanah dangkal. Terdapat 4 Satuan yang berada pada geologi daerah penelitian dari tua ke muda yaitu, Formasi Tuff Banten (QTvb), Kipas Alluvium (Qav), Endapan Pematang Pantai (Qbr), dan Alluvium (Qa). Karakteristik air tanah pada daerah penelitian di analisis menggunakan data parameter fisik dan kimia air tanah. Secara umum pola aliran air tanah pada daerah penelitian berarah selatan – utara mengikuti kemiringan lereng. Dari hasil analisis fisik pada daerah penelitian didapatkan nilai Daya Hantar listrik bernilai 196,3 – 5640 $\mu\text{S}/\text{cm}$, untuk total dissolved solid (TDS) bernilai 131 – 3760 mg/L , dan untuk nilai pH bernilai 6,5 – 8,5. Selanjutnya hasil dari analisis kimia laboratorium yang dianalisis dengan menggunakan diagram stiff dan diagram piper, fasies air tanah pada daerah penelitian terdiri dari tiga fasies air tanah, yaitu fasies Ca-HCO₃ , Na-HCO₃, dan Na-Cl. Tingkat keasinan air tanah berdasarkan perhitungan menurut Revelle (Klasifikasi Simpson (1946) terbagi menjadi air tawar hingga air tawar terkontaminasi tinggi. Penelitian ini menunjukkan adanya persebaran air asin yang terdapat di wilayah lebih dekat dengan garis pantai.

Kata kunci: Cekungan air tanah, akuifer bebas, fasies air tanah, intrusi air laut, Jakarta

ABSTRACT

The northern part of the Jakarta Groundwater Basin in the Special Capital Region Jakarta which is an alluvial plain with a very rapid population and industrial growth area. These activities result in increased use of clean water. The impact of excessive use of groundwater is groundwater pollution in the form of saltwater intrusion found in areas bordering the coast into shallow groundwater. Geological research areas such as Banten Tuff Formation (QTvb), Alluvial Fan (Qav), Beach Ridge Deposits (Qbr), and Alluvial (Qa). Groundwater characteristics in the research area were analyzed using data on physical and chemical parameters of groundwater. In general, in the study area groundwater flow direction is south to north following the slope. The results of physical analysis, by electrical conductivity value is 196.3 – 5640 S/cm, total dissolved solid (TDS) is 131 – 3760 mg/L, and pH value is 6.5 – 8.5. From the results of laboratory chemicals analysis were analyzed using the hydrochemical method of stiff diagrams and piper diagrams, facies of groundwater in the study area consists of three facies of groundwater, is Ca-HCO₃ facies, Na-HCO₃ facies, and Na-Cl facies. The level of salinity of groundwater based on calculations according to Revelle (Simpson Classification (1946)) is divided into fresh water to highly contaminated water. The results showed the distribution of salt water found in the area closer the shoreline.

Keyword: Groundwater basin, unconfined aquifer, groundwater facies, seawater intrusion, Jakarta

PENDAHULUAN

Daerah pesisir merupakan suatu daerah peralihan yang meliputi area darat, baik yang terendam maupun tidak terendam air laut namun terpengaruh aktivitas laut (*marine*), serta mencakup area laut yang masih terpengaruh oleh adanya aktivitas daratan (Sunarto, dkk., 2014). Salah satu daerah pesisir yang terdapat di Indonesia adalah di Utara Kota Jakarta. Topografi yang relatif datar hingga bergelombang ini menjadikan kawasan Jakarta menarik untuk ditempati dan dijadikan Kawasan Komersial (Hutabarat, L. E., 2017). Semakin meningkatnya dari aktivitas tersebut, menjadikan salah satu faktor pengaruh permasalahan pada sumberdaya air tanah (Nugraha, dkk., 2020).

CAT Jakarta tersusun oleh batuan berumur tersier, plistosen, dan holosen yang terdiri dari batuan sedimen, hasil erupsi gunungapi, dan aluvial. Batuan dapat diidentifikasi jenis dan sejarah pembentukannya berdasarkan komposisi geokimia (Candra, dkk., 2021). Berdasarkan sifat fisik dari batuan, ditemukan batuan yang kedap air dan lolos air (porositas tinggi) pada CAT Jakarta (Fachri M., dkk, 2002). Hasil penelitian Rismianto dan Mak (1993) menyimpulkan bahwa dasar cekungan berupa garis yang melandai dari selatan ke utara.

Air tanah pada akuifer bebas CAT Jakarta pada umumnya memiliki kualitas yang buruk (Matahelumual, 2010). Buruknya sumber daya air tanah yang semakin parah ini, diikuti dengan terjadinya proses perubahan iklim yang diperkirakan akan menyebabkan bahaya intrusi air laut (Dragoni dan Sukhija, 2008). Perubahan iklim akan menyebabkan kenaikan muka air laut yang kemudian menyebabkan terjadinya pengurangan

daratan dan luas akuifer yang menampung air tanah (Setyawan, dkk., 2015).

Meskipun sebagian besar air tanah pada akuifer bebas pada Utara CAT Jakarta bersifat payau, namun pada beberapa tempat dijumpai air tanah yang bersifat tawar (Setiawan, T., 2014). Untuk mengetahui karakteristik kimiawi air tanah di suatu cekungan air tanah perlu dilakukan pendataan geologi, analisis kimia air, dan data parameter fisik air tanah sebagai gambaran karakteristik air tanah.

METODE

Penelitian ini dilakukan di CAT Jakarta bagian Utara yang dilakukan pada tahun 2021. Penelitian dilakukan untuk mengetahui fasies air tanah dan kontaminasi air asin dengan data parameter fisik dan kimia air tanah (Prayogi, dkk., 2015).

Pengukuran parameter fisika dan kimia air tanah dilakukan pada 55 titik pengamatan (Gambar 1) pada sumur gali, sumur bor, dan sumur pantau yang merupakan jenis akuifer bebas. Parameter fisika yang dilakukan analisis meliputi nilai daya hantar listrik, *total dissolved solids*, dan pH (Zaenurrohman, dkk., 2024). Sedangkan untuk parameter kimia yang dilakukan analisis meliputi Kation Mg²⁺, Ca²⁺, Na⁺ dan K⁺ untuk Anion berupa Cl⁻, SO₄²⁻, dan HCO₃⁻. Untuk mengetahui kualitas hasil analisis pada laboratorium dilakukan perhitungan *charge balance error* (CBE) dengan rumus (Freeze and Cherry, 1979) :

$$Meq/l = \frac{mg/l * valensi}{Ar atom} = \frac{mg/l * valensi}{berat atom}$$

$$CBE (\%) = \frac{\Sigma Kation - \Sigma Anion}{\Sigma Kation + \Sigma Anion} \times 100 \%$$

Keterangan :

CBE = Penyimpangan atau Kesalahan (%)

Analisis kimia air tanah dilakukan di Laboratorium untuk mengetahui fasies air tanah (Fetter, C. W., 1994). Acuan dalam penentuan fasies air tanah menggunakan data kimia ion terlarut berdasarkan analisis diagram trilinear yang dirumuskan oleh Piper (1944) dan diagram Stiff (1951). Molaritas dan nilai meq/L dari setiap unsurnya dengan rumus :

$$Mol = \frac{n \text{ mg/L}}{Mr} \times Valensi$$

$$\%meq/L = \frac{meq/L (\text{senyawa kimia})}{Jumlah \frac{meq}{L} (\text{kation/anion})} \times 100 \%$$

Berikutnya, untuk mengetahui adanya kontaminasi air laut pada lokasi penelitian, digunakan perhitungan perbandingan konsentrasi Klorida Bikarbonat (*Chlorida-Bikarbonat Ratio*) menurut rumus Revelle (1941). Rumus dari *Chlorida-Bikarbonat ratio* sebagai berikut :

$$R = \frac{[Cl]}{[CO_3 + HCO]}$$

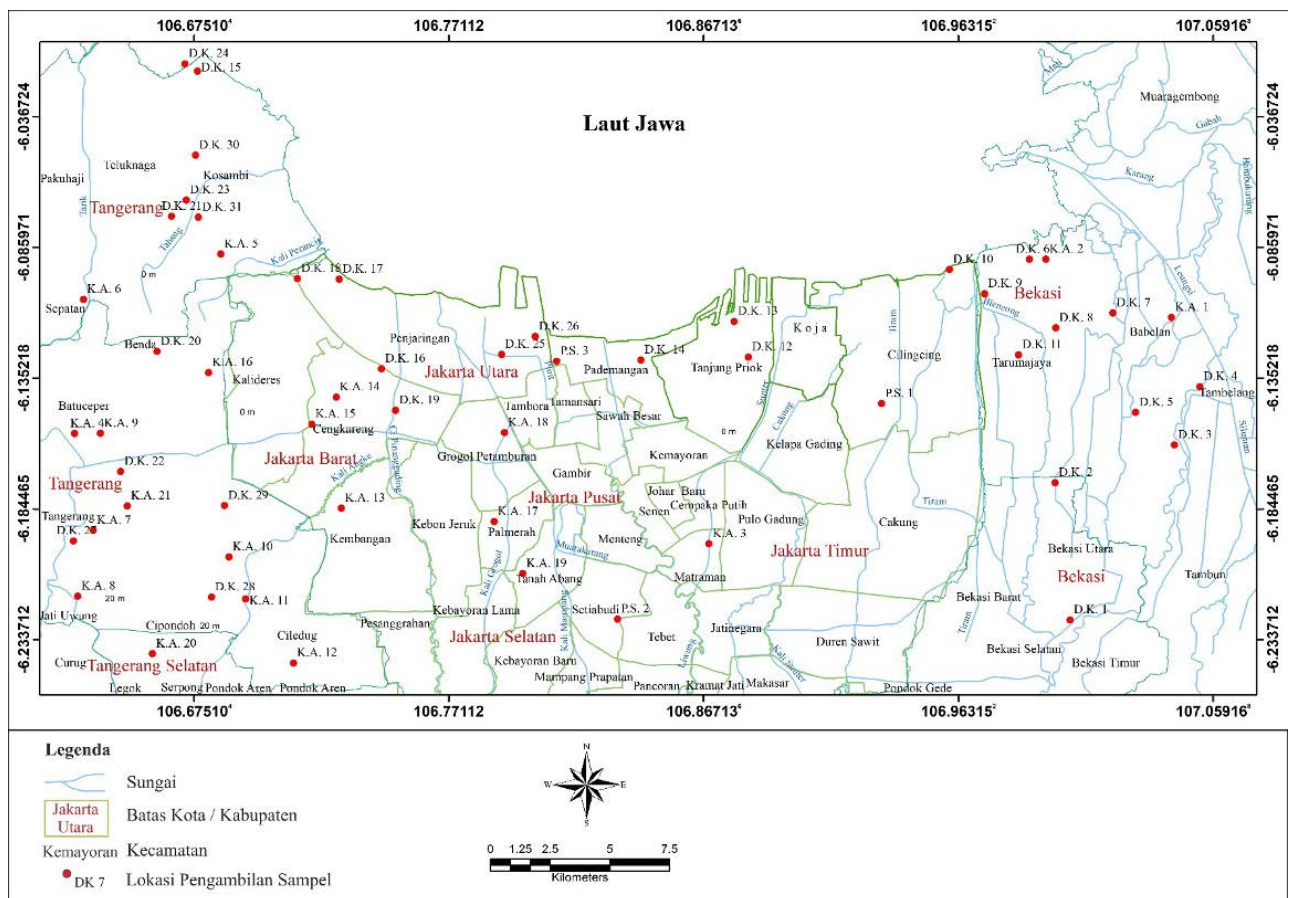
Notasi Cl^- , CO_3^{2-} , dan HCO_3^- masing-masing adalah konsentrasi ion klorida, ion karbonat, dan ion bikarbonat dengan satuan meq/liter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

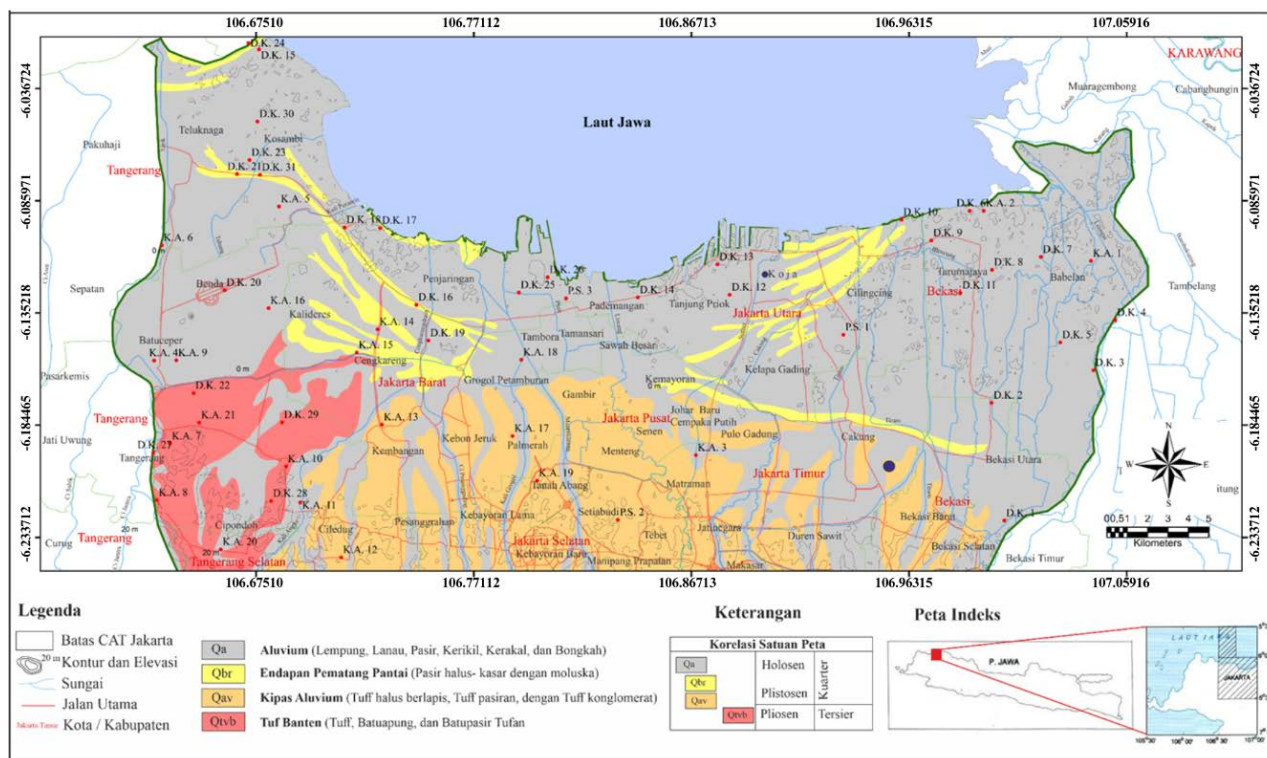
Hidrogeologi Daerah Penelitian

Daerah penelitian termasuk dalam CAT Jakarta bagian utara dengan pengambilan sampel airtanah pada 55 titik sumur. Jenis sumur berupa sumur gali (kode sampel D.K.), bor dangkal (kode sampel K.A.), dan sumur pantau (kode sampel P.A.) (Gambar 1). Pengambilan sampel airtanah pada jenis sumur dangkal (bor/gali) termasuk dalam akuifer bebas (tidak tertekan).

Daerah penelitian dari tua ke muda tersusun atas Formasi Tuff Banten (QTvb), Kipas Aluvium (Qav), Endapan Pematang Pantai (Qbr), dan Aluvium (Qa) (Turkandi, 1992) (Gambar 2). Jakarta merupakan daerah dengan morfologi dataran dengan genetika pantai, alluvial, dan kipas alluvial (Listyono, dkk., 2016). Hidrogeologi daerah Jakarta dikelompokkan dalam 3 akuifer: akuifer bebas (kedalaman <50 m), akuifer tertekan (kedalaman 50-



Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Sampel (DK= sumur gali; KA= sumur dangkal; PS= sumur pantau)



Gambar 2. Peta Lokasi Pengambilan Sampel (DK= sumur gali; KA= sumur dangkal; PS= sumur pantau)

150 m), akuifer tertekan II (kedalaman 150-250 m) (Samsuhadi, 2009). Akuifer bebas termasuk dalam airtanah dangkal, sedangkan akuifer tertekan termasuk dalam airtanah dalam. Menurut Prayogi dkk. (2015), CAT Jakarta bagian utara menunjukkan endapan sedimen berupa endapan pasir (alluvium) menipis ke arah utara sebagai akuifer bebas.

1. Ketinggian Muka Air Tanah (MAT)

Nilai ketinggian muka air tanah (MAT) diperlukan untuk mengetahui arah aliran air tanah pada daerah penelitian, ketinggian MAT tertinggi pada kode sumur K.A. 12 terletak di Daerah Ciledug (Tangerang) dengan nilai MAT 9,33 meter bawah muka tanah (mbmt) dan ketinggian MAT terendah dengan MAT 0 meter bawah muka tanah (mbmt) pada kode sumur D.K. 6 terletak di Daerah Tarumajaya (Bekasi) (Gambar 1). Tinggi muka air tanah dipengaruhi oleh morfologi, dimana daerah perbukitan umumnya mempunyai muka air tanah yang lebih dalam dibandingkan dataran (Zaenurrohman, dkk., 2023).

2. Arah Aliran Air Tanah

Air tanah mengalir dari wilayah yang lebih tinggi (*Recharge Zone*) menuju wilayah yang lebih rendah (*Discharge Zone*) (Lubis, dkk., 2008). Daerah penelitian memiliki topografi yang lebih tinggi di wilayah selatan dan semakin menurun pada wilayah utara (Seizarwati, dkk., 2018) (Gambar 3).

Adanya perbedaan kontur ini mengindikasikan wilayah selatan merupakan wilayah imbuhan dan wilayah utara merupakan wilayah lepasan. Pola aliran air tanah dapat membantu dalam analisa distribusi air tanah dan pencemarannya (Gambar 4).

Hidrokimia Daerah Penelitian

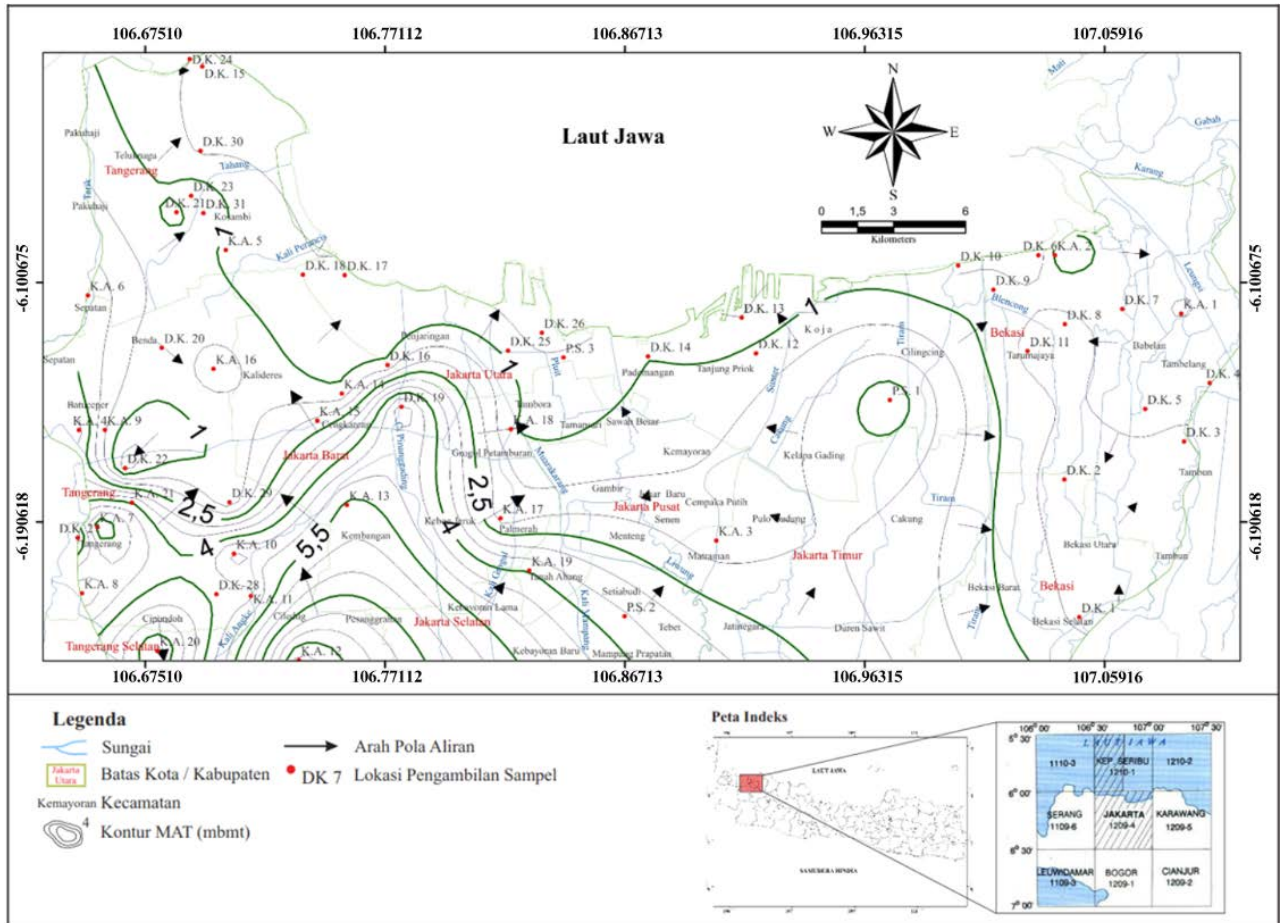
Dalam analisis hidrokimia digunakan parameter fisik dan kimia air tanah. Analisis fisik ini dilakukan pada saat pengukuran di lapangan, sedangkan untuk analisis parameter kimia menggunakan data yang telah dianalisis di laboratorium (Tabel 1).

Analisis Parameter Fisik Air Tanah

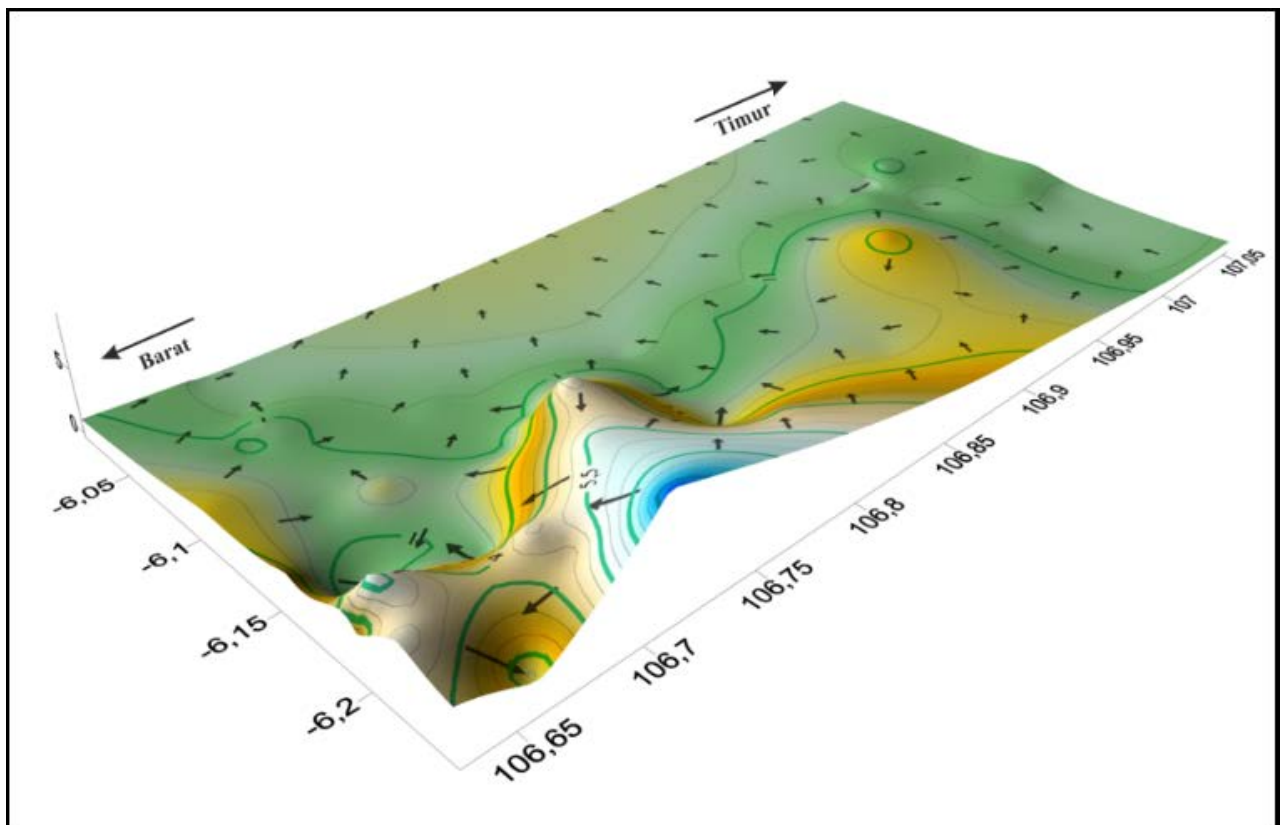
Parameter fisik terbagi menjadi beberapa data pendukung fasies air tanah, yaitu Daya Hantar Listrik (DHL) dan Total Dissolved Solid (TDS) (Shaleh, dkk., 2021).

Daya Hantar Listrik (DHL)

Nilai DHL di lokasi penelitian dimulai dari 196,3 – 5640 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dengan rata-rata nilai DHL 1204,1 (Tabel 1). Klasifikasi DHL berdasarkan keputusan Panitia Ad Hoc Intrusi Air Asin (PAHIAA,1986) terbagi menjadi 5, yaitu < 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dengan jenis air tanah tawar, 1.500 – 5.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dengan jenis air agak payau, 5.000 – 15.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dengan jenis air payau, 15.000 – 50.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dengan jenis air asin, dan > 50.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dengan jenis air *brine* (*connate*). Kategori jenis air



Gambar 3. Peta Lokasi Pengambilan Sampel (DK= sumur gali; KA= sumur dangkal; PS= sumur pantau)



Gambar 4. Model 3D Aliran air tanah daerah penelitian

Tabel 1. Sifat fisik dan kimia air tanah CAT Jakarta bagian utara

No	Kode Sumur	Koordinat		Muka Air Tanah	Sifat Fisik						Sifat Kimia					
		X	Y		DHL	TDS	Suhu	pH	Ca	Na	Mg	K	Karbonat	Bikarbonat	Klorida	Sulfat
				M.bmt	µS/cm	mg/L	°C	-	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1	DK. 1	107.01	-6.226	0.40	683	455	25.6	7.16	82.8	47.89	25.2	5.61	0	253.86	49.75	106.5
2	DK. 2	107.00	-6.175	0.20	2,330	1,553	25.6	7.80	132.2	259.56	41.4	35.53	0	676.54	420.96	50.4
3	DK. 3	107.04	-6.160	0.25	1,773	1,182	25.4	7.41	138.2	137.75	33.0	11.47	0	557.60	262.10	126.5
4	DK. 4	107.05	-6.138	1.00	900	600	25.2	7.36	119.0	86.20	5.4	2.35	0	308.50	95.30	141.0
5	KA. 1	107.04	-6.112	0.45	1,452	968	25.3	7.61	87.4	184.51	6.8	14.48	0	218.20	315.30	48.5
6	DK. 5	107.03	-6.148	0.83	977	651	25.4	7.67	72.9	46.50	37.5	12.79	0	395.00	64.20	83.0
7	DK. 6	106.99	-6.090	0.00	2,360	1,573	25.7	7.38	127.0	246.79	75.3	13.85	0	842.04	324.36	132.6
8	DK. 7	107.02	-6.111	0.65	1,202	801	25.4	7.75	66.2	127.99	30.9	17.44	0	331.50	163.70	119.0
9	DK. 8	107.00	-6.116	0.36	538	359	25.5	7.28	53.4	29.09	16.8	7.25	0	203.50	42.30	41.0
10	KA. 2	107.00	-6.090	1.35	1,589	1,053	25.6	7.65	92.8	125.17	16.7	21.52	0	314.90	231.13	29.9
11	DK. 9	106.97	-6.103	0.87	2,380	1,587	25.5	7.28	125.9	259.76	38.1	37.76	0	576.16	507.86	63.0
12	DK. 10	106.96	-6.094	0.35	1,607	1,071	25.5	8.42	97.7	165.76	28.0	21.18	0	348.85	330.36	47.3
13	PS. 1	106.93	-6.145	2.88	919	613	25.6	7.95	11.9	120.01	17.6	13.30	0	67.20	209.03	59.0
14	KA. 3	106.87	-6.198	1.72	269	179	25.5	7.73	31.1	17.31	15.0	5.32	0	143.94	20.22	15.5
15	DK. 11	106.99	-6.126	0.35	652	435	25.4	7.01	73.3	30.96	12.0	12.03	0	317.40	30.60	48.9
16	PS. 2	106.83	-6.226	3.57	286	191	25.5	7.12	34.5	24.48	7.2	3.48	0	131.08	15.72	39.8
17	DK. 12	106.88	-6.127	1.16	383	255	25.5	8.02	56.4	15.77	6.8	5.11	0	149.50	23.30	38.0
18	DK. 13	106.88	-6.114	0.48	292	195	25.5	7.82	38.3	11.03	11.3	3.01	0	116.50	13.10	40.2
19	DK. 14	106.84	-6.128	1.00	653	435	25.4	8.34	45.4	29.59	19.7	7.76	0	303.70	28.20	66.5
20	PS. 3	106.81	-6.129	0.59	5,640	3,760	25.5	8.08	104.5	829.17	137.6	67.02	0	175.88	1,676.84	104.0
21	DK. 15	106.68	-6.020	0.28	1,217	811	26.1	7.67	31.3	232.85	12.5	26.24	0	527.19	122.80	61.7
22	DK. 16	106.75	-6.132	1.11	686	457	24.9	7.85	70.1	49.11	19.7	10.55	0	248.88	51.95	84.1
23	DK. 17	106.73	-6.098	0.60	810	540	26.1	8.13	54.2	61.80	29.6	14.53	0	332.11	63.95	54.6
24	DK. 18	106.71	-6.098	0.52	4,820	3,213	26.1	7.75	142.4	697.96	37.6	21.00	0	368.27	1,409.79	102.3
25	DK. 19	106.75	-6.147	5.46	1,661	1,107	25.5	8.04	16.4	361.66	9.3	13.34	0	436.37	198.37	209.1
26	DK. 20	106.66	-6.125	1.09	1,381	921	26.1	7.65	159.5	75.47	21.0	20.45	0	341.15	91.43	208.0
27	KA. 4	106.63	-6.156	3.30	545	363	26.1	7.29	52.7	18.18	16.8	25.74	0	196.03	19.75	46.3
28	KA. 5	106.69	-6.088	0.94	1,764	1,176	26.1	7.70	70.3	237.73	51.2	25.40	0	419.66	287.19	137.4
29	KA. 6	106.63	-6.106	2.43	681	454	26.0	7.10	66.1	39.24	26.0	9.60	0	316.41	52.23	57.4
30	DK. 21	106.67	-6.074	0.83	2,690	1,793	26.1	7.97	72.7	400.89	26.1	21.36	0	607.60	551.68	135.9
31	DK. 22	106.65	-6.170	0.15	618	412	26.1	7.36	44.8	43.08	12.0	14.45	0	226.01	55.74	38.0
32	DK. 23	106.67	-6.068	1.34	311	207	26.1	7.37	24.4	24.68	11.5	4.65	0	122.28	13.52	42.7
33	DK. 24	106.67	-6.017	0.53	2,110	1,407	26.1	7.33	117.4	237.95	14.7	25.41	0	465.33	455.71	73.4
34	KA. 7	106.64	-6.193	6.20	301	201	26.1	8.23	21.8	25.73	9.7	7.62	0	195.55	5.64	5.3
35	KA. 8	106.63	-6.217	5.45	343	229	26.1	7.79	32.5	23.73	8.8	6.26	0	172.72	16.92	19.3
36	KA. 9	106.64	-6.156	1.44	537	358	26.1	8.72	8.8	76.24	3.0	13.56	0	233.62	11.87	-
37	KA. 10	106.69	-6.203	5.29	330	220	25.4	6.34	29.5	35.60	6.3	0.39	0	60.98	45.86	23.9
38	KA. 11	106.69	-6.218	4.30	695	463	25.3	7.38	35.2	86.59	12.9	12.49	0	222.33	55.94	37.0
39	KA. 12	106.71	-6.242	9.33	269	179	25.1	7.49	23.7	31.24	7.5	1.31	0	80.89	37.77	30.4
40	KA. 13	106.73	-6.184	5.68	381	254	25.1	8.16	31.1	48.22	13.6	11.46	0	155.55	27.31	69.8
43	KA. 16	106.68	-6.133	1.87	1,944	1,296	26.1	8.14	13.7	414.60	10.8	14.27	0	675.64	181.34	116.9
44	KA. 17	106.79	-6.189	1.73	529	353	24.9	7.51	52.7	68.62	4.3	4.12	0	186.25	39.39	70.6
45	KA. 18	106.79	-6.156	1.02	1,051	701	24.8	8.18	35.8	154.43	35.4	23.64	0	389.08	99.90	96.6
46	KA. 19	106.80	-6.209	4.02	290	193	25.3	7.99	30.9	30.37	8.4	1.17	0	91.26	25.97	45.5

No	Kode Sumur	Koordinat		Muka Air Tanah	Sifat Fisik						Sifat Kimia					
		X	Y		DHL	TDS	Suhu	pH	Ca	Na	Mg	K	Karbonat	Bikarbonat	Klorida	Sulfat
		M.bmt	$\mu\text{S/cm}$	mg/L	$^{\circ}\text{C}$	-	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	
46	KA. 19	106.80	-6.209	4.02	290	193	25.3	7.99	30.9	30.37	8.4	1.17	0	91.26	25.97	45.5
47	DK. 25	106.79	-6.126	0.89	2,880	1,920	26.1	7.52	151.9	379.03	11.0	25.89	0	502.44	703.17	51.6
48	DK. 26	106.80	-6.120	0.20	1,144	763	26.1	8.07	50.3	189.94	13.4	16.65	0	334.01	211.44	44.5
49	KA. 20	106.66	-6.239	1.78	296	197	24.9	8.23	30.5	33.75	6.0	5.55	0	113.24	20.46	55.8
50	KA. 21	106.65	-6.183	4.13	836	557	26.1	7.70	44.0	108.97	16.7	3.03	0	309.27	64.88	100.5
51	DK. 27	106.63	-6.197	3.03	679	453	26.1	6.95	52.6	62.84	16.3	5.34	0	209.83	73.24	47.0
52	DK. 28	106.68	-6.218	4.13	964	643	26.1	7.33	64.4	168.85	22.7	7.34	0	488.17	67.51	57.6
53	DK. 29	106.69	-6.183	1.04	3,240	2,160	26.1	7.44	92.7	383.63	71.1	18.00	0	446.30	593.83	206.3
54	DK. 30	106.68	-6.051	0.42	2,790	1,860	26.1	7.61	121.1	338.38	17.6	27.51	0	377.31	635.66	74.8
55	DK. 31	106.68	-6.075	1.29	1,266	844	26.1	8.21	54.0	229.79	27.2	20.78	0	540.03	181.34	57.7

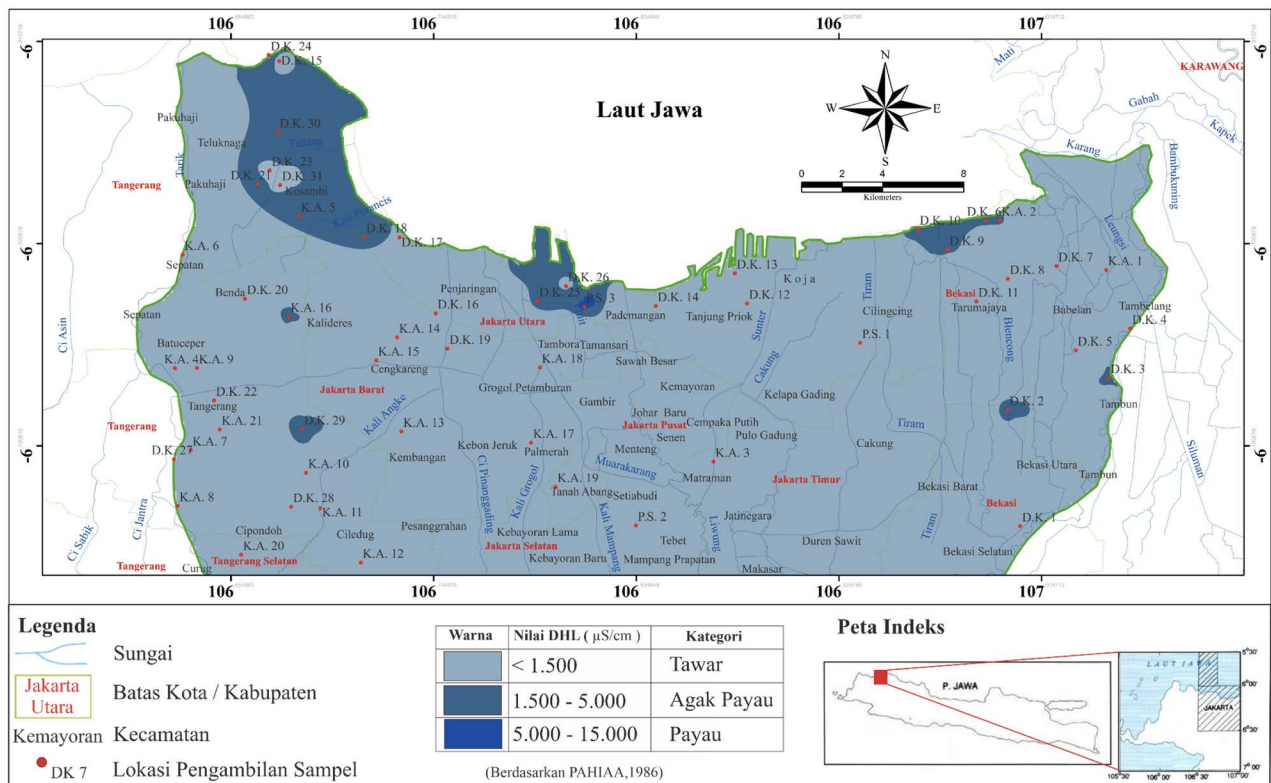
tanah pada daerah penelitian berdasarkan nilai DHL hanya terdapat 3 (tiga) jenis, tawar, agak payau, dan payau (Gambar 5).

Sumur yang memiliki nilai DHL yang melebihi nilai $> 1500 \mu\text{S/cm}$ dipengaruhi adanya air laut yang mendesak air tawar melalui beberapa sungai dengan kondisi sebaran muka air tanah akibat adanya eksploitasi air tanah (Waspodo, dkk., 2019).

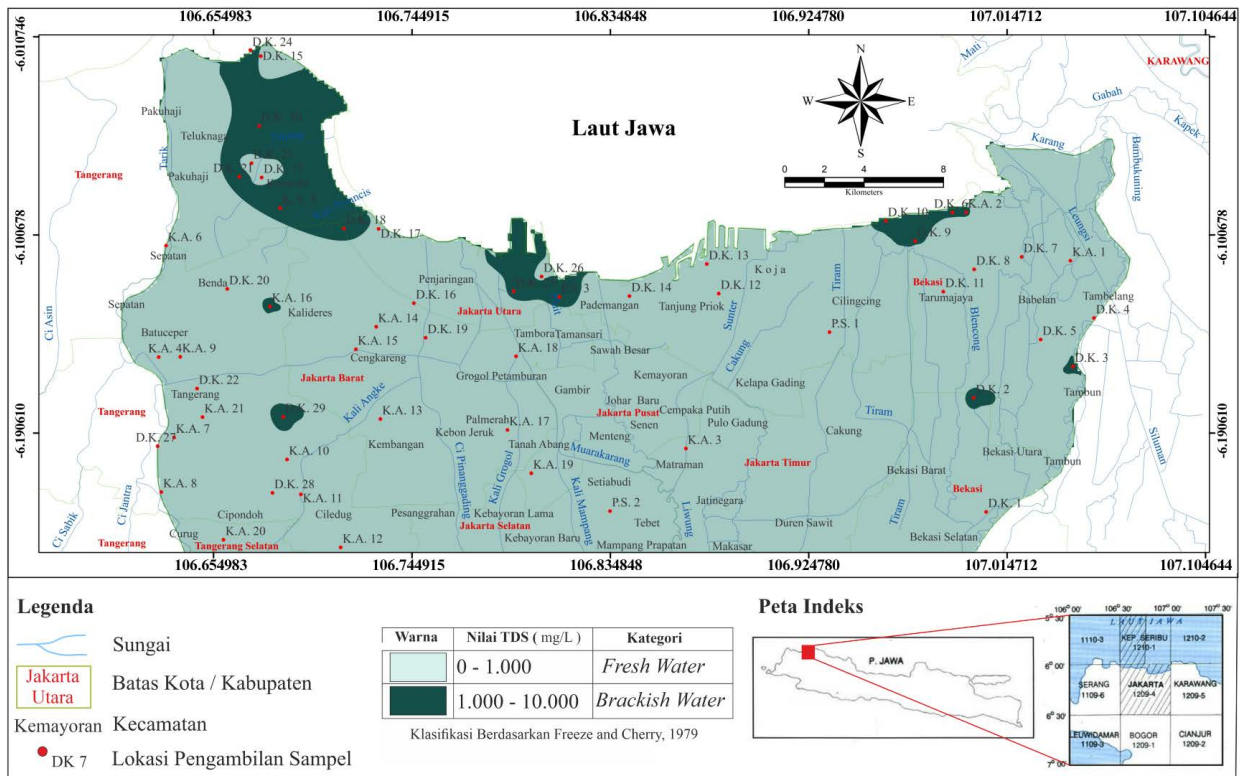
Total Dissolved Solids (TDS)

Besar nilai TDS selalu berbanding lurus dengan nilai DHL, karena semakin tinggi kadar zat padat terlarut maka kandungan mineral-mineralnya pun

akan semakin tinggi, sehingga mineral tersebut yang memiliki unsur kation dan anion tersebut akan mampu menghantarkan listrik. Nilai TDS ini dipengaruhi oleh zat-zat yang terlarut dalam air yang telah kontak dengan permukaan dan litologi yang dilewatinya. Dari analisis 55 sampel, nilai TDS berkisar antara 131 – 3760 mg/L dengan rata-rata nilai adalah 803 mg/L (Tabel 1). Berdasarkan klasifikasi Freeze and Cheery (1979), jenis air pada daerah penelitian termasuk pada kategori *fresh water* dan *brackish water* (Gambar 6).



Gambar 5. Peta Persebaran Nilai Daya Hantar Listrik Daerah Penelitian



Gambar 6. Peta Persebaran Nilai Total Dissolved Solids Daerah Penelitian

Analisis Parameter Kimia Air Tanah

Berikut akan dilakukan analisis kimia air tanah berupa penyebaran nilai pH (pengukuran di lapangan) dan penyebaran fasies air tanah. Dimulai dari meng-konversi satuan data kimia, kemudian menghitung *charge balance error* (CBE), dan selanjutnya pengeplottan pada diagram piper dan diagram stiff untuk mengetahui fasies air tanah pada lokasi penelitian.

pH (Power of Hydrogen)

Pengukuran pH bertujuan untuk mengetahui tingkat derajat ke asaman air tanah. Kadar pH yang disarankan oleh Kementerian Kesehatan adalah 6,5 – 8,5. Secara umum pH di lokasi penelitian berkisar 6,34 – 8,72 (Tabel 1). Persebaran nilai pH pada lokasi penelitian (Gambar 7) data hasil pengukuran di lapangan menunjukkan air tanah pada daerah penelitian bagian utara memiliki pH relative basa, sedangkan pada bagian selatan cenderung memiliki pH lebih rendah atau asam. Air tanah dengan pH basa diindikasikan karena adanya reaksi Ion Karbonat kemudian bereaksi dengan air tanah (H₂O) membentuk bikarbonat (HCO₃⁻) dan ion hidroksida (OH⁻). Konsentrasi ion hidroksida (OH⁻) yang terdapat dalam air tanah tersebut membuat air tanah memiliki sifat yang basa.

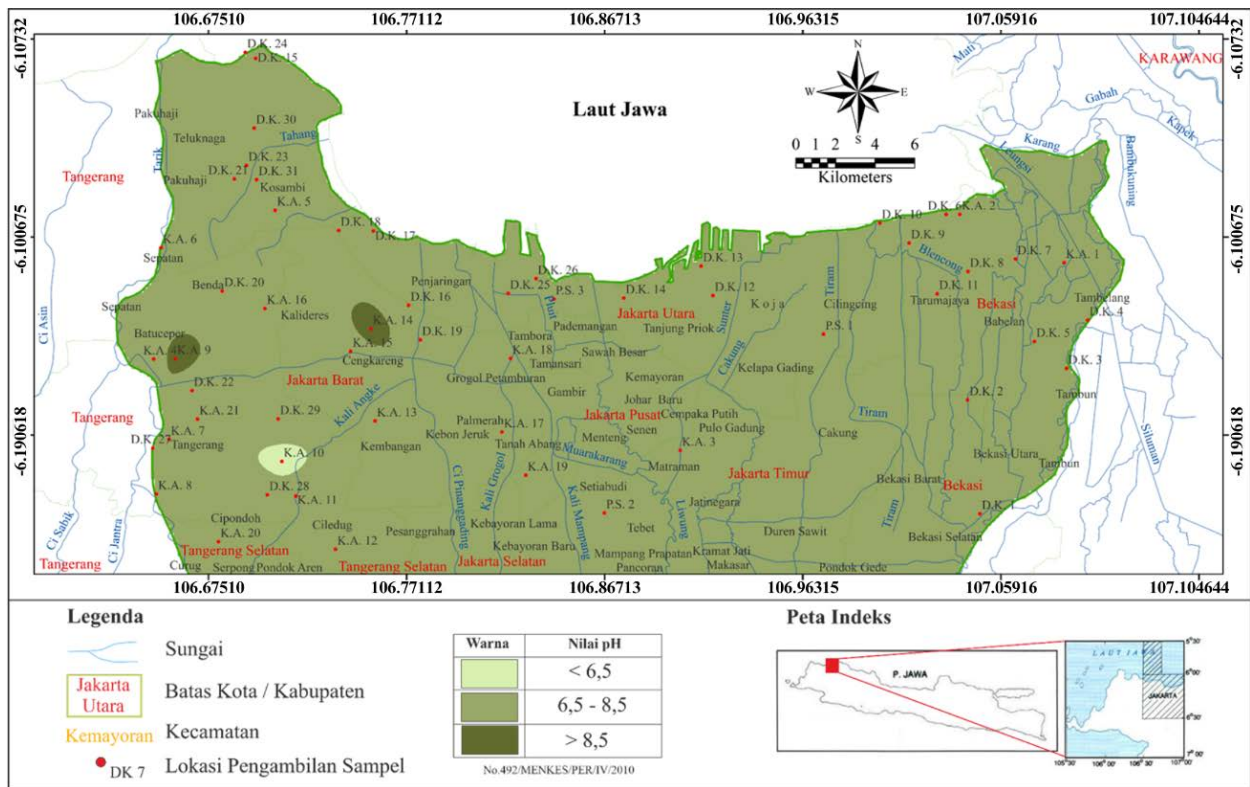
Charge Balance Error (CBE)

Charge Balance Error (CBE) menjadi salah satu tahap penting untuk menentukan tingkat akurasi data kimia melalui perhitungan persentase penyimpangan kesetimbangan beban antara unsur anion dan kation. Sebuah kesetimbangan ion dapat dikatakan baik jika bernilai ≤ 5 %. Pada daerah penelitian terdapat 14 sample yang memiliki Ion Balance (Tabel 2) melebihi 5 % (DK3, DK9, DK11, DK14, DK18, DK21, DK24, DK25, DK28, KA3, KA4, KA10, KA11, dan KA19) dan terdapat 41 sample yang memiliki Ion Balance ≤ 5%. Selanjutnya, dilakukan proses dengan menggunakan Metode Diagram Piper dan Diagram Stiff yang memberikan informasi tentang proses pencampuran air tanah yang terjadi pada lokasi daerah penelitian.

Diagram Stiff

Metode Diagram Stiff digunakan untuk mengetahui penyebaran ion dominan, baik pada bagian kation maupun anion. Diagram Stiff dapat dipakai untuk menghubungkan atau mengkorelasikan kualitas air tanah secara tegak pada suatu lubang bor mulai dari air tanah teratas sampai yang terbawah atau secara mendatar pada akuifer yang sama (Suharyadi, 1984). Pada gambar 8, menunjukkan tipe kimia air tanah yang dominan berdasarkan diagram stiff.

Berdasarkan hasil analisis kimia air tanah menggunakan diagram stiff, diketahui terdapat 3

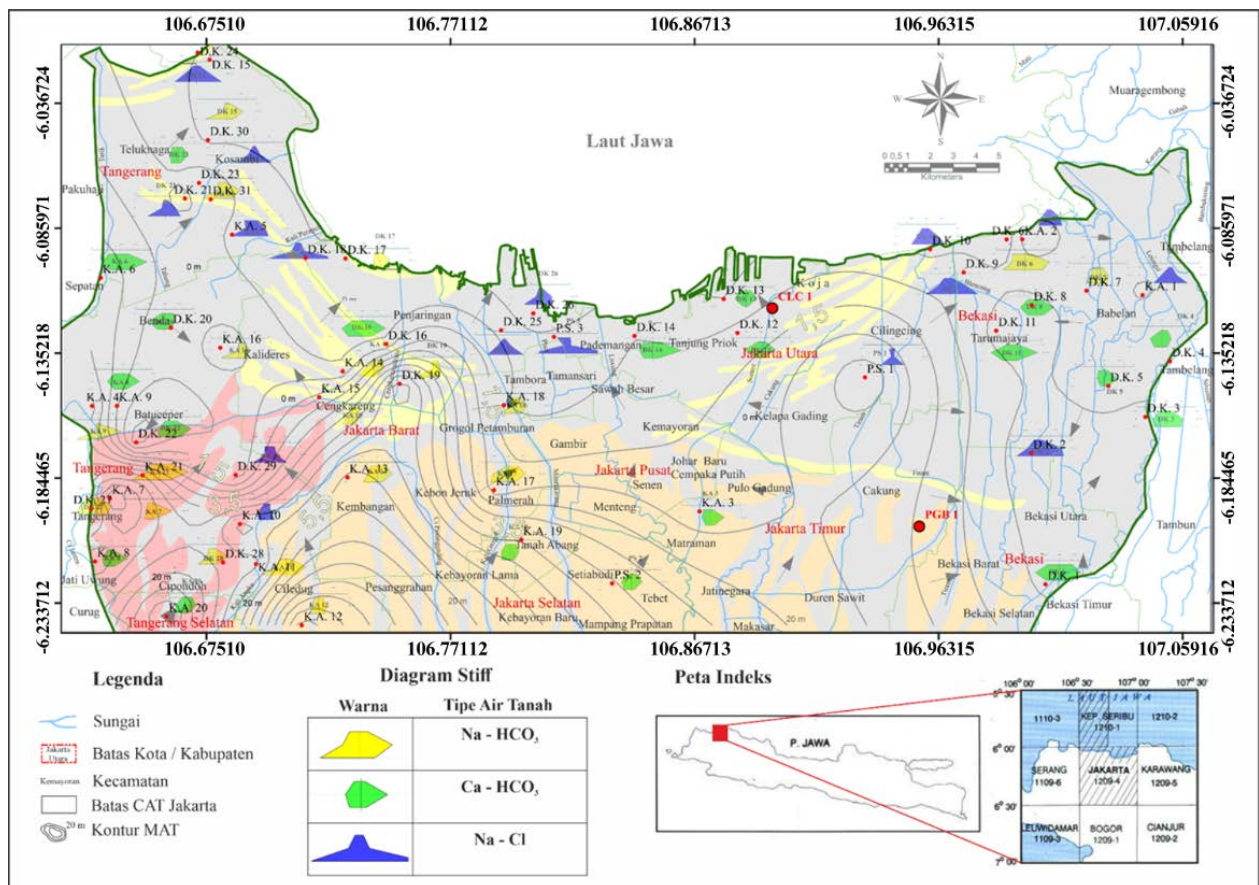


Gambar 7. Peta Persebaran Nilai pH air tanah pada lokasi penelitian

Tabel 2. Sifat fisik dan kimia air tanah CAT Jakarta bagian utara

No	Kode Sumur	Koordinat		Muka Air Tanah	Sifat Fisik					Sifat Kimia						
		X	Y		DHL	TDS	Suhu	pH	Ca	Na	Mg	K	Karbonat	Bikarbonat	Klorida	Sulfat
1	DK. 1	107.01	-6.226	0.40	683	455	25.6	7.16	82.8	47.89	25.2	5.61	0	253.86	49.75	106.5
2	DK. 2	107.00	-6.175	0.20	2,330	1,553	25.6	7.80	132.2	259.56	41.4	35.53	0	676.54	420.96	50.4
3	DK. 3	107.04	-6.160	0.25	1,773	1,182	25.4	7.41	138.2	137.75	33.0	11.47	0	557.60	262.10	126.5
4	DK. 4	107.05	-6.138	1.00	900	600	25.2	7.36	119.0	86.20	5.4	2.35	0	308.50	95.30	141.0
5	KA. 1	107.04	-6.112	0.45	1,452	968	25.3	7.61	87.4	184.51	6.8	14.48	0	218.20	315.30	48.5
6	DK. 5	107.03	-6.148	0.83	977	651	25.4	7.67	72.9	46.50	37.5	12.79	0	395.00	64.20	83.0
7	DK. 6	106.99	-6.090	0.00	2,360	1,573	25.7	7.38	127.0	246.79	75.3	13.85	0	842.04	324.36	132.6
8	DK. 7	107.02	-6.111	0.65	1,202	801	25.4	7.75	66.2	127.99	30.9	17.44	0	331.50	163.70	119.0
9	DK. 8	107.00	-6.116	0.36	538	359	25.5	7.28	53.4	29.09	16.8	7.25	0	203.50	42.30	41.0
10	KA. 2	107.00	-6.090	1.35	1,589	1,053	25.6	7.65	92.8	125.17	16.7	21.52	0	314.90	231.13	29.9
11	DK. 9	106.97	-6.103	0.87	2,380	1,587	25.5	7.28	125.9	259.76	38.1	37.76	0	576.16	507.86	63.0
12	DK. 10	106.96	-6.094	0.35	1,607	1,071	25.5	8.42	97.7	165.76	28.0	21.18	0	348.85	330.36	47.3
13	PS. 1	106.93	-6.145	2.88	919	613	25.6	7.95	11.9	120.01	17.6	13.30	0	67.20	209.03	59.0
14	KA. 3	106.87	-6.198	1.72	269	179	25.5	7.73	31.1	17.31	15.0	5.32	0	143.94	20.22	15.5
15	DK. 11	106.99	-6.126	0.35	652	435	25.4	7.01	73.3	30.96	12.0	12.03	0	317.40	30.60	48.9
16	PS. 2	106.83	-6.226	3.57	286	191	25.5	7.12	34.5	24.48	7.2	3.48	0	131.08	15.72	39.8
17	DK. 12	106.88	-6.127	1.16	383	255	25.5	8.02	56.4	15.77	6.8	5.11	0	149.50	23.30	38.0
18	DK. 13	106.88	-6.114	0.48	292	195	25.5	7.82	38.3	11.03	11.3	3.01	0	116.50	13.10	40.2
19	DK. 14	106.84	-6.128	1.00	653	435	25.4	8.34	45.4	29.59	19.7	7.76	0	303.70	28.20	66.5
20	PS. 3	106.81	-6.129	0.59	5,640	3,760	25.5	8.08	104.5	829.17	137.6	67.02	0	175.88	1,676.84	104.0
21	DK. 15	106.68	-6.020	0.28	1,217	811	26.1	7.67	31.3	232.85	12.5	26.24	0	527.19	122.80	61.7
22	DK. 16	106.75	-6.132	1.11	686	457	24.9	7.85	70.1	49.11	19.7	10.55	0	248.88	51.95	84.1

No	Kode Sumur	Koordinat		Muka Air Tanah	Sifat Fisik					Sifat Kimia						
		X	Y		DHL	TDS	Suhu	pH	Ca	Na	Mg	K	Karbonat	Bikarbonat	Klorida	Sulfat
22	DK. 16	106.75	-6.132	1.11	686	457	24.9	7.85	70.1	49.11	19.7	10.55	0	248.88	51.95	84.1
23	DK. 17	106.73	-6.098	0.60	810	540	26.1	8.13	54.2	61.80	29.6	14.53	0	332.11	63.95	54.6
24	DK. 18	106.71	-6.098	0.52	4,820	3,213	26.1	7.75	142.4	697.96	37.6	21.00	0	368.27	1,409.79	102.3
25	DK. 19	106.75	-6.147	5.46	1,661	1,107	25.5	8.04	16.4	361.66	9.3	13.34	0	436.37	198.37	209.1
26	DK. 20	106.66	-6.125	1.09	1,381	921	26.1	7.65	159.5	75.47	21.0	20.45	0	341.15	91.43	208.0
27	KA. 4	106.63	-6.156	3.30	545	363	26.1	7.29	52.7	18.18	16.8	25.74	0	196.03	19.75	46.3
28	KA. 5	106.69	-6.088	0.94	1,764	1,176	26.1	7.70	70.3	237.73	51.2	25.40	0	419.66	287.19	137.4
29	KA. 6	106.63	-6.106	2.43	681	454	26.0	7.10	66.1	39.24	26.0	9.60	0	316.41	52.23	57.4
30	DK. 21	106.67	-6.074	0.83	2,690	1,793	26.1	7.97	72.7	400.89	26.1	21.36	0	607.60	551.68	135.9
31	DK. 22	106.65	-6.170	0.15	618	412	26.1	7.36	44.8	43.08	12.0	14.45	0	226.01	55.74	38.0
32	DK. 23	106.67	-6.068	1.34	311	207	26.1	7.37	24.4	24.68	11.5	4.65	0	122.28	13.52	42.7
33	DK. 24	106.67	-6.017	0.53	2,110	1,407	26.1	7.33	117.4	237.95	14.7	25.41	0	465.33	455.71	73.4
34	KA. 7	106.64	-6.193	6.20	301	201	26.1	8.23	21.8	25.73	9.7	7.62	0	195.55	5.64	5.3
35	KA. 8	106.63	-6.217	5.45	343	229	26.1	7.79	32.5	23.73	8.8	6.26	0	172.72	16.92	19.3
36	KA. 9	106.64	-6.156	1.44	537	358	26.1	8.72	8.8	76.24	3.0	13.56	0	233.62	11.87	-
37	KA. 10	106.69	-6.203	5.29	330	220	25.4	6.34	29.5	35.60	6.3	0.39	0	60.98	45.86	23.9
38	KA. 11	106.69	-6.218	4.30	695	463	25.3	7.38	35.2	86.59	12.9	12.49	0	222.33	55.94	37.0
39	KA. 12	106.71	-6.242	9.33	269	179	25.1	7.49	23.7	31.24	7.5	1.31	0	80.89	37.77	30.4
40	KA. 13	106.73	-6.184	5.68	381	254	25.1	8.16	31.1	48.22	13.6	11.46	0	155.55	27.31	69.8
43	KA. 16	106.68	-6.133	1.87	1,944	1,296	26.1	8.14	13.7	414.60	10.8	14.27	0	675.64	181.34	116.9
44	KA. 17	106.79	-6.189	1.73	529	353	24.9	7.51	52.7	68.62	4.3	4.12	0	186.25	39.39	70.6
45	KA. 18	106.79	-6.156	1.02	1,051	701	24.8	8.18	35.8	154.43	35.4	23.64	0	389.08	99.90	96.6
46	KA. 19	106.80	-6.209	4.02	290	193	25.3	7.99	30.9	30.37	8.4	1.17	0	91.26	25.97	45.5
47	DK. 25	106.79	-6.126	0.89	2,880	1,920	26.1	7.52	151.9	379.03	11.0	25.89	0	502.44	703.17	51.6
48	DK. 26	106.80	-6.120	0.20	1,144	763	26.1	8.07	50.3	189.94	13.4	16.65	0	334.01	211.44	44.5
49	KA. 20	106.66	-6.239	1.78	296	197	24.9	8.23	30.5	33.75	6.0	5.55	0	113.24	20.46	55.8
50	KA. 21	106.65	-6.183	4.13	836	557	26.1	7.70	44.0	108.97	16.7	3.03	0	309.27	64.88	100.5
51	DK. 27	106.63	-6.197	3.03	679	453	26.1	6.95	52.6	62.84	16.3	5.34	0	209.83	73.24	47.0
52	DK. 28	106.68	-6.218	4.13	964	643	26.1	7.33	64.4	168.85	22.7	7.34	0	488.17	67.51	57.6
53	DK. 29	106.69	-6.183	1.04	3,240	2,160	26.1	7.44	92.7	383.63	71.1	18.00	0	446.30	593.83	206.3
54	DK. 30	106.68	-6.051	0.42	2,790	1,860	26.1	7.61	121.1	338.38	17.6	27.51	0	377.31	635.66	74.8
55	DK. 31	106.68	-6.075	1.29	1,266	844	26.1	8.21	54.0	229.79	27.2	20.78	0	540.03	181.34	57.7



Gambar 8. Persebaran Tipe Air Tanah Dominan Pada Daerah Penelitian

jenis tipe air tanah dengan komposisi kimia yang dominan. Tipe pertama adalah Ca-HCO₃ (Kalsium Bikarbonat) ditandai dengan diagram berwarna hijau, kedua tipe Na-HCO₃ (Natrium Bikarbonat) ditandai dengan diagram berwarna kuning, Ketiga tipe Na - Cl (Natrium Klorida) dengan diagram berwarna biru (Gambar 8).

Diagram Piper

Proses-proses hidrogeokimia pada setiap zona air tanah yang dicirikan oleh kandungan ion-ion terlarut maka analisis fasies air tanah menjadi hal yang sangat penting untuk diketahui (Hiscock, K., 2005). Metode analisis yang umum digunakan untuk mengetahui fasies air tanah adalah menggunakan Diagram Piper (Piper, 1944 dalam Clark, 2015). Berdasarkan hasil analisis, fasies air tanah pada lokasi penelitian secara garis besar dikelompokkan menjadi 3 (tiga) fasies (Gambar 9), yaitu:

Fasies Ca-HCO₃ (Kalsium-Bikarbonat)

Fasies ini dapat dikatakan memiliki sifat air yang lebih tawar disebabkan karena terjadinya pencucian Natrium Klorida yang lebih intensif (Martosuparno, dkk., 2017). Dalam hal ini senyawa Natrium berubah menjadi senyawa Kalsium serta

terdapat senyawa Bikarbonat yang membuat air menjadi lebih tawar.

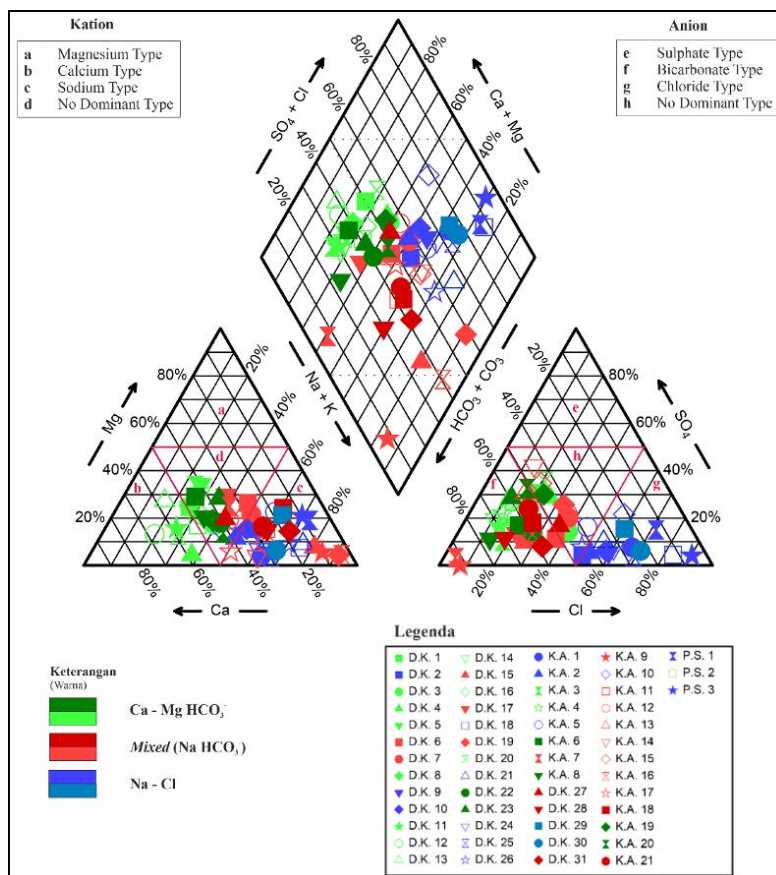
Fasies Na-HCO₃ (Natrium-Bikarbonat)

Kemunculan unsur Na pada fasies ini diindikasikan berasal dari mineral lempung yang ada di lokasi penelitian serta adanya proses pelapukan maka pengaruh batuan terhadap air terbilang cukup tinggi. Sumber utama ion HCO₃ dalam air tanah adalah CO₂ terlarut dalam air hujan yang memasuki tanah melarutkan lebih banyak CO₂ (Muchamad, dkk., 2017).

Fasies Na-Cl (Natrium-Klorida)

Fasies Na-Cl memiliki sebaran terutama pada bagian utara Cekungan Air Tanah Jakarta. Munculnya unsur Na pada fasies ini diindikasikan berasal dari mineral lempung yang ada pada lingkungan sekitar. Na juga dapat dipengaruhi oleh faktor antropogenik.

Hasil analisis dengan diagram piper segi empat juga sangat mendukung hasil Plotting pada diagram Piper Segitiga (Afriyani, dkk., 2020). Plotting sampel air tanah pada diagram piper ditunjukkan pada gambar 10 yang dikembangkan oleh Kloosterman (1983), bahwa air tanah pada daerah penelitian terbentuk dari proses yang bervariasi yaitu



Gambar 9. Plotting Diagram Piper

air tanah bikarbonat, air tanah semi bikarbonat, air tanah evaporit, air tanah sulfat, dan air konat.

Kelompok air tanah bikarbonat (I)

Air tanah bikarbonat dicirikan dengan rasa yang tawar, tidak berbau, berwarna jernih serta memiliki *total dissolved solid* (TDS) rendah yaitu 195-255 mg/L. Kelompok ini berasal dari Kalsium (Ca^{2+}), Magnesium (Mg^{2+}), dan Bikarbonat (HCO_3^-) yang tinggi. Sementara kandungan ion Natrium (Na^{2+}) dan Kalium (K^+) yang rendah. Hasil dari pengukuran lapangan nilai konduktivitasnya rendah yaitu 383 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pada sample sumur DK 12 dan 292 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pada sample sumur DK 13 yang mencerminkan air tanah pada kedua sumur tersebut bersifat tawar.

Kelompok air tanah semi-bikarbonat (II)

Kelompok air tanah ini terdiri dari komposisi campuran antara kation ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) dan ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) dengan anion ($\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$) dan ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$). Namun, ion yang mendominasi kelompok air tanah semi bikarbonat ini adalah ion HCO_3^- , walaupun jumlahnya tidak sebanyak tipe air tanah bikarbonat (I). Ion HCO_3^- ini berasal dari air hujan

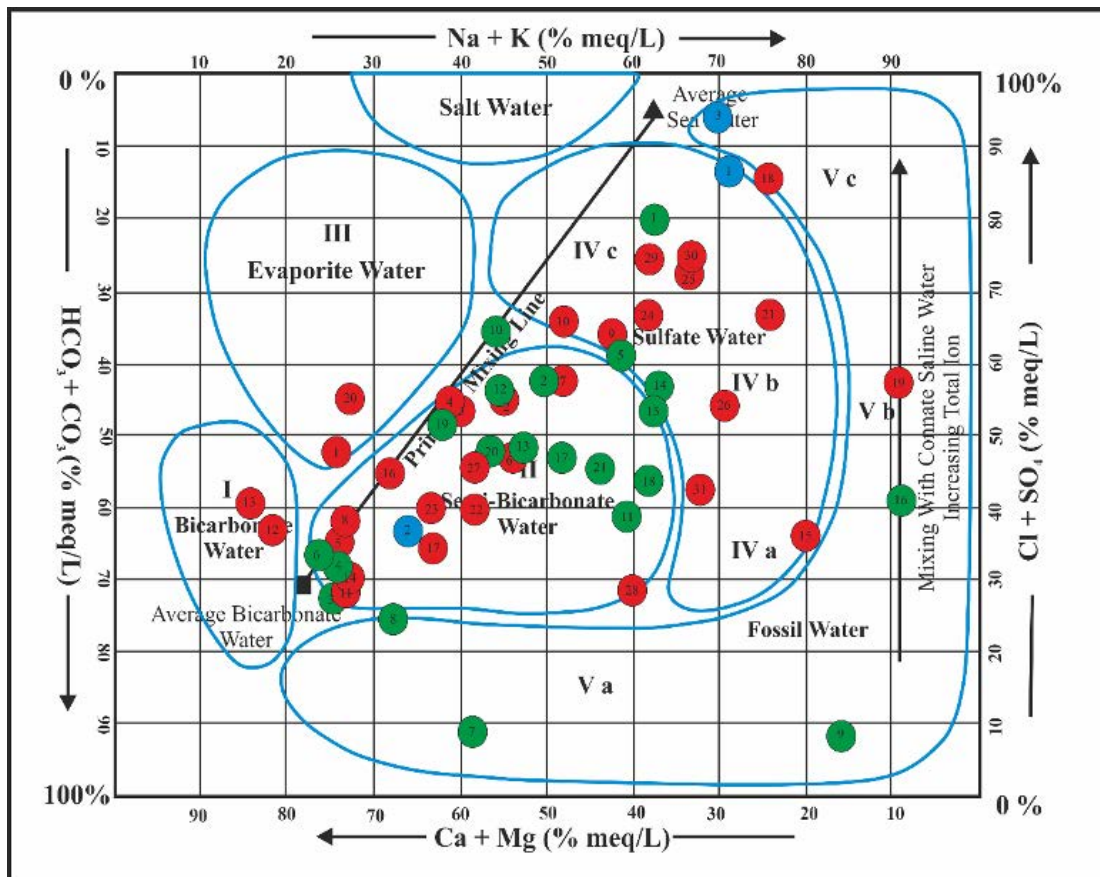
yang masuk ke dalam akuifer bebas melalui proses infiltrasi dan perkolasi. Air tanah bikarbonat masih memiliki rasa air yang tawar dan masih dapat dikonsumsi untuk kebutuhan sehari-hari, namun kualitas air tanah tidak sebaik air tanah bikarbonat (I).

Kelompok air tanah Evaporit (III)

Air tanah evaporite umumnya berasal dari air tanah bebas berasal dari dataran yang berawa, delta, atau dataran alluvial kepeesisiran. Kandungan Ca^{2+} yang tinggi, sedangkan kandungan $\text{Na}^{2+} + \text{K}^+$ dalam air tanah rendah. Adanya proses evaporasi dapat menunjukkan bahwa pada masa lampau daerah penelitian merupakan daerah transisi. Keberadaan material lempung didaerah penelitian dapat menyebabkan terjadinya proses pertukaran kation pada air tanah. Material tersebut mengalami kontak dengan ion $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ yang terlarut dalam air tanah sehingga terjadi proses pertukaran kation.

Kelompok air tanah Sulfat (IV)

Kelompok air tanah sulfat memiliki nilai daya hantar listrik terbilang tinggi yang mengindikasikan bahwa air tanah pada bentuk lahan pesisir. Kelompok ini terbentuk dari sisa-sisa pembusukan bahan organik kemudian terjadi proses reduksi dan



Gambar 10. Diagram Piper (Kloosterman, 1983)

pelepasan oksigen hingga membentuk sulfat. memiliki komposisi campuran antara $\text{Na}^{2+} + \text{K}^{+}$ dan $\text{Cl}^{-} + \text{SO}_4^{2-}$ yang tinggi serta $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ dan $\text{HCO}_3^{-} + \text{CO}_3^{2-}$ yang relatif lebih rendah.

Kelompok air tanah connate (V)

Karakteristik yang menonjol dari komposisi hidrogeokimia kelompok ini adalah perbandingan antara $\text{Na}^{2+} + \text{K}^{+}$ terhadap $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ yang semakin tinggi, yang diperkirakan sebagai suatu tingkat terakhir dari proses pertukaran kation (Putranto, dkk., 2020). Air tanah kelompok ini dapat berasa tawar, payau, hingga asin yang bergantung pada tingkat konsentrasi ion Cl^{-} . Air tanah ini biasanya terdapat dalam bentuk jebakan-jebakan air tanah pada dataran fluviomarin di wilayah kepesisiran, baik yang dekat dengan pantai maupun berjarak beberapa kilometer dari garis pantai sekarang.

Analisis Pengaruh Kontaminasi Air Laut

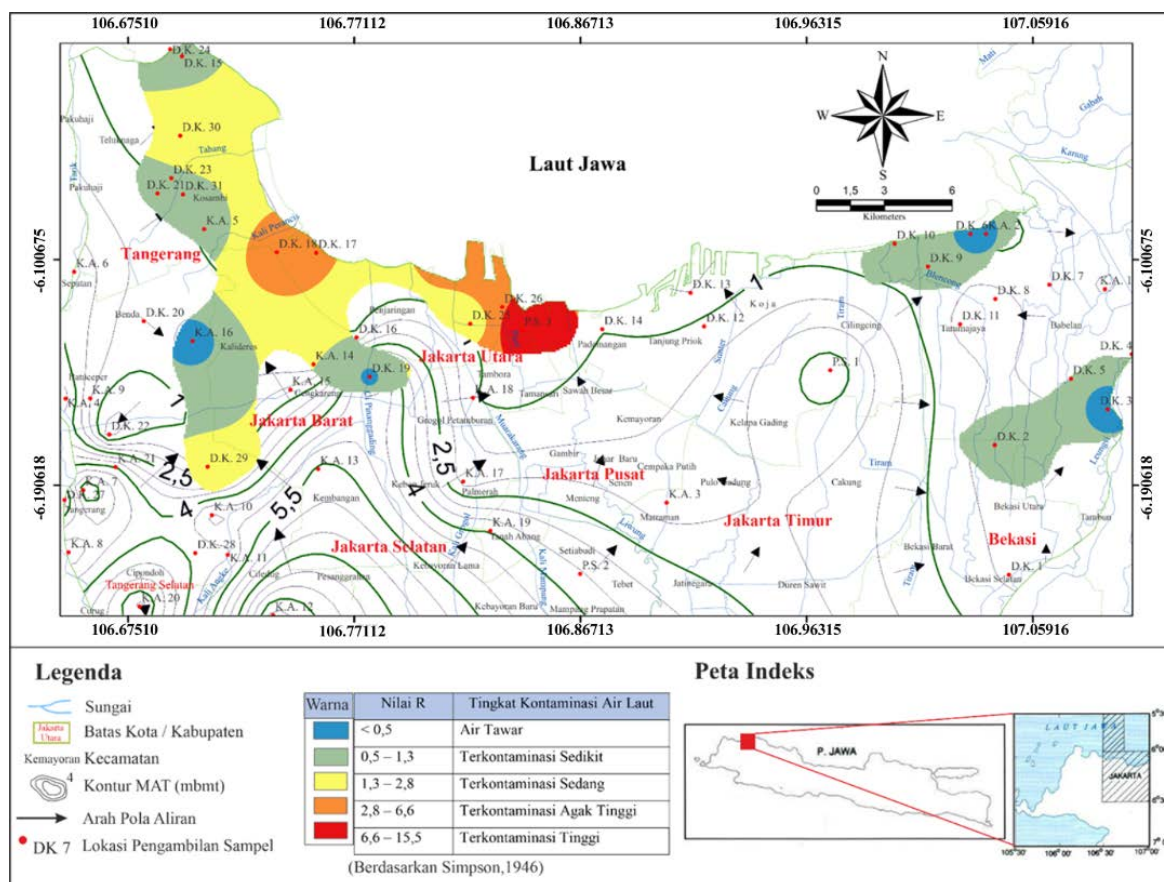
Pada analisis ini digunakan 15 sample, hal ini didapatkan dari nilai daya hantar listrik yang memiliki nilai $> 1500 \mu\text{S/cm}$ yang termasuk kedalam kategori agak payau – payau. Faktor Analisis yang digunakan berdasarkan perbandingan

konsentrasi Klorida – Bikarbonat (Chlorida-Bikarbonat Ratio) menurut rumus Revelle (1941).

Berdasarkan hasil perhitungan dapat diketahui bahwa perbandingan konsentrasi klorida-bikarbonat (R) sampel DK.2, DK.3, DK.6, DK.9, DK. 10, DK.19, DK.21, DK.24, KA.5, dan KA.16 memiliki nilai $R < 1$. Maka, apabila $R < 1$ dan nilai DHL $> 1500 \mu\text{S/cm}$ keasinan air tanah diakibatkan adanya pelarutan mineral-mineral garam yang terdapat pada batuan akuifer. Sedangkan, pada sampel DK.18, DK.25, DK.30, dan PS.3 memiliki nilai $R > 1$. Maka, apabila $R > 1$ dan nilai DHL $> 1500 \mu\text{S/cm}$, maka keasinan air tanah disebabkan oleh adanya penyusupan air laut (Gambar 11). Persebaran air asin dapat dilihat berdasarkan peta daya hantar listrik yang memiliki nilai $> 1500 \mu\text{S/cm}$ (Gambar 5). Sampel-sampel tersebut berada pada wilayah pesisir dan beberapa berada pada wilayah tengah yang mendekati aliran sungai yang terletak pada endapan aluvial serta termasuk kedalam dataran rendah kawasan pemukiman dan industri. Pada Sumur DK.29 memiliki nilai R dan DHL tinggi diindikasikan bahwa sumur tersebut merupakan daerah akumulasi air tanah yang dapat dilihat dari aliran air tanah yang melewati sumur DK.29. Interpolasi tingkat kontaminasi air laut berdasarkan nilai R dengan metode kriging (Gambar 11).

Tabel 3. Hasil Perhitungan Nilai R

No	Kode sumur	DHL μS/cm	CO3+HCO mg/l	Cl mg/l	R
1	DK.2	2330	676.5	421	0.62223
2	DK.3	1773	557.6	262.1	0.47005
3	DK.6	2360	842	324.4	0.385201
4	DK.9	2380	576.2	507.9	0.881457
5	DK.10	1607	348.8	330.4	0.947015
6	DK.18	4820	368.3	1409.8	3.828142
7	DK.19	1661	436.4	198.4	0.454585
8	DK.21	2690	607.6	551.7	0.907966
9	DK.24	2110	465.3	455.7	0.979321
10	DK.25	2880	502.4	703.2	1.39949
11	DK.29	3240	446.3	593.8	1.330569
12	DK.30	2790	377.3	635.7	1.684717
13	KA.5	1764	419.7	287.2	0.684342
14	KA.16	1944	675.6	181.3	0.268403
15	PS.3	5640	175.9	1676.8	9.534275



Gambar 11. Diagram Piper (Kloosterman, 1983)

KESIMPULAN

Cekungan Air Tanah Jakarta bagian utara memiliki sistem akuifer bebas mengalir dari arah selatan menuju ke arah utara. Elevasi muka air tanah didapatkan nilai 0 m bmt dibagian utara sampai dengan 9,33 m bmt dibagian selatan. Hasil analisis beberapa parameter fisik dan kimia air tanah menunjukkan bahwa pembentukan fasies air tanah dipengaruhi oleh faktor antropogenik dan proses-proses hidrogeokimia berupa pencucian air tanah oleh air hujan, tukar kation, dan pencampuran atau

penyusupan air laut. Berdasarkan analisis fisik, nilai daya hantar listrik air tanah di daerah penelitian didapatkan nilai sebesar 196,3 – 5640 μS/cm berdasarkan PAHIAA (1986) termasuk kedalam kategori tawar- payau. Berikutnya, untuk nilai TDS didapatkan nilai berkisar antara 131 – 3760 mg/L dengan rata-rata nilai adalah 803 mg/L dan untuk nilai pH didapatkan nilai berkisar antara 6,34 – 8,72. Kecenderungan pola yang dihasilkan adalah nilai semakin meningkat ke arah utara dengan indikasi pengaruh pencampuran air laut (*mixing*).

Berdasarkan analisis hidrokimia didapatkan 3 (tiga) fasies air tanah pada daerah penelitian, yaitu Ca-HCO₃, Na-HCO₃, dan Na-Cl dan berdasarkan diagram piper (modifikasi Kloosterman) daerah penelitian terbentuk dari proses yang bervariasi yaitu *Bicarbonate Water*, *Semi-Bicarbonate Water*, *Evaporite Water*, *Sulfate Water*, dan *Connate Water*. Dari hasil perhitungan rasio Klorida-Bikarbonat didapatkan kategori kontaminasi air laut berdasarkan klasifikasi Simpson yaitu : Air Tawar, Terkontaminasi Sedikit, Terkontaminasi Sedang, Terkontaminasi Agak Tinggi, dan Terkontaminasi Tinggi. Daerah dengan kontaminasi air laut tertinggi berada di Pademangan Jakarta Utara (P.S. 3) dengan kandungan unsur Natrium (829.17 mg/L) dan Klorida (1676.8 mg/L) sangat tinggi. Klorida dapat bereaksi dengan berbagai unsur, terutama logam seperti unsur Na untuk membentuk natrium klorida (Na-Cl). Keberadaan Na-Cl dalam air merupakan penciri air tanah yang telah dipengaruhi oleh air laut (Mtoni, dkk., 213).

Faktor batuan berupa endapan aluvial pada daerah pesisir menjadi faktor yang mempengaruhi kontaminasi air laut karena sifat dari material aluvial sendiri mudah dilewati dan menyimpan air. Aktivitas manusia seperti pengambilan air tanah secara masif karena pertumbuhan perkotaan dan pembuangan limbah industri maupun rumah tangga dapat mencemari air tanah jika tidak dikelola dengan baik. Pengelolaan pemanfaatan air tanah perlu diatur dan dijalankan dengan baik mulai dari hulu sampai dengan hilir. *Injection* air tawar kedalam tanah dilakukan dalam upaya mengembalikan keseimbangan hidrolis serta kedalaman muka air tanah.

DAFTAR ACUAN

- Afriyani, M. P., Sentosa, L. W., dan Nugroho, A. C., 2020. Analisis Genesa Hidrogeokimia Air tanah Menggunakan Diagram Piper Segiempat Di Wilayah Pesisir. *Media Komunikasi Geografi*, 21 (1), 01-11. doi:<https://doi.org/10.23887/mkg.v21i1>
- Candra, A., Zaenurrohman, J. A., dan Nugroho, A. W. 2021. Geochemical of Volcanic Rock in Southern Part of Slamet Volcano, Indonesia. *In IOP Conference Series. Earth and Environmental Science (Vol. 746, No. 1)*. IOP Publishing. doi: 10.1088/1755-1315/746/1/012045
- Clark, I. 2015. *Groundwater Geochemistry Isotopes*. Boca Raton: CRC Press.
- Dragoni, W., dan Sukhija, B.S., 2008. Climate Change and Groundwater. A Short Review. *Geological Society: Special Publications*, 288, 1-12. doi: <https://doi.org/10.1144/SP288.1>
- Fachri, M., Djuhaeni, Hutasoit, L. M, dan Ramdhan, A.M., 2002. Stratigrafi dan Hidrostratigrafi Cekungan Air Tanah Jakarta. *Buletin Geologi*, 34 (3), 169-189.
- Fetter, C. W. 1994. *Applied Hydrogeology*. USA : University of Wisconsin-Oshkosh
- Freeze, R.A. dan Cherry, J.A.,1979. *Groundwater*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 07632
- Hiscock, K., 2005. *Hydrogeology Principles and Practice*. Blackwell Publishing, Oxford.
- Hutabarat, L. E. 2017. Studi Penurunan Muka Tanah (*Land Subsidence*) Akibat Pengambilan Air Tanah Berlebihan di DKI Jakarta. *Kumpulan Karya Ilmiah Dosen Universitas Kristen Indonesia Delapan Windu UKI*.
- Kloosterman, F. H., 1983. Reconnaissance Study of Groundwater Resources in the Kabupaten Cirebon. *Provincial Health Service Irectorate CDC*, Bandung.
- Listyono, G. M., Arfiansyah, K., Natasia, N., Alfadli, M. K., dan Pranantya, P. A. 2016. Litofasies Endapan Kuarter Di Wilayah DKI Jakarta. *Bulletin of Scientific Contribution*.
- Lubis, R. F., Sakura, Y., dan Delinom, R. 2008. Groundwater recharge and discharge processes in the Jakarta groundwater basin, Indonesia. *Hydrogeology Journal*, 16(5). doi: <https://doi.org/10.1007/s10040-008-0278-1>
- Martosuparno, S., Nailly, W., dan Maria, R. 2017. Hidrogeokimia Air Tanah Tidak Tertekan Di Pesisir Barat Kabupaten Serang dan Pandegelang, Provinsi Banten. *RISSET Geologi Dan Pertambangan*, 27(2).
- Matahelumual, B. C., 2010. Kajian kondisi air tanah Jakarta tahun 2010. *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, 1(3).
- Mtoni, Y., Mjemah, I.C., Bakundukize, C., Van Camp, M., Martens, K. and Walraevens, K., 2013. Saltwater intrusion and nitrate pollution in the coastal aquifer of Dar es Salaam, Tanzania. *Environmental Earth Sciences*, 70, pp.1091-1111. doi: <https://doi.org/10.1007/s12665-012-2197-7>
- Muchamad, A. N., Alam, B. Y. C. S., dan Yuningsih, E. T. 2017. Hidrogeokimia Airtanah Pada

- Daerah Pantai: Studi Kasus Dataran Rendah Katak, Desa Sumber Agung, Kabupaten Banyuwangi. *RISSET Geologi dan Pertambangan*, 27(1), 39-46.
- Nugraha, G. U., Handayani, L., Lubis, R. F., Wardhana, D. D., dan Gaol, K. L. 2020. Basement Characteristics of Jakarta Groundwater Basin Based on Satellite Gravimetry Data. *Indonesian Journal of Geography*, 52(1).
- Panitia Ad Hoc Intrusi Air Asin Jakarta (PAHIAA-Jakarta). 1986. *Klasifikasi Keasinan Perairan Jakarta*. Jakarta
- Piper, A., 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Transactions, American Geophysical Union*. 25 (6): 914–928. doi: <https://doi.org/10.1029/TR025i006p00914>
- Prayogi, T. E., Abdilla, F., Nasution, I. M., Nababan, J. R., Memed, M. W., dan Daryanto, A. 2015. *Groundwater Quality Assesment of Unconfined Aquifer System for Suitable Drinking Determination of Northern Jakarta Groundwater Basin*. Balai Konservasi Air Tanah. Badan Geologi, Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral, 492.
- Putranto, T. T., Hidayat, W. K., dan Prayudi, S. D. 2020. Pemetaan Hidrogeologi dan Analisis Geokimia Air Tanah Cekungan Air Tanah (CAT) Kendal. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(2). doi: <https://doi.org/10.14710/jil.18.2.305-318>
- Revelle, R. 1941. Criteria For Recognition of The Sea Water in Ground-Waters. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 22 (3), pp.593 – 597.
- Rismianto, D. dan W. Mak. 1993. Environmental aspects of groundwater extraction in DKI Jakarta: Changing views. *Proceedings of the 22nd Annual Convention of the Indonesian Association of Geologist*. Bandung, 6-9 Desember, pp. 327 - 345.
- Samsuhadi, S., 2009. Pemanfaatan air tanah Jakarta. *Jurnal Air Indonesia*, 5(1). doi: <https://doi.org/10.29122/jai.v5i1.2428>
- Seizarwati, W., Prasetya, D., Syahidah, M., dan Rengganis, H. 2018. Simulasi Perilaku Air Tanah Jakarta Akibat Pengambilan Air Tanah Berlebihan. *Jurnal Sumber Daya Air*, 14(2).
- Setiawan, T., 2014. Proses Hidrogeokimia Pengontrol Salinitas Air Tanah Tidak Tertekan di Utara Cekungan Air Tanah Jakarta. *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, 5(1).
- Setyawan, A., Fukuda, Y., Nishijima, J., Kazama, T., 2015. Detecting Land Subsidence Using Gravity Method in Jakarta and Bandung Area, Indonesia. *Procedia Environmental Sciences*. Vol 23. 17-26 pp. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.01.004>.
- Shaleh, F. R., Prihatini, E. S., & Masud, F. 2021. Analysis of water pollution in Kaliotik River, Lamongan-West Java. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 744, No. 1, p. 012075). Doi: 10.1088/1755-1315/744/1/012075.
- Stiff, H.A., Jr., 1951. The interpretation of chemical water analysis by means of patterns: *Journal of Petroleum Technology*. v. 3. no. 10, section 1: p15,16 and section 2: p3.
- Sunarto, Marfai, M. A., Setiawan, M. A., 2014. *Geomorfologi dan Dinamika Pesisir Jepara*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Turkandi, T., Sidarto, Agustiyanto, D.A. Hadiwidjoyo, M., M., P. 1992. Peta Geologi Lembar Jakarta dan Kepulauan Seribu, Jawa. Skala 1: 100.000. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Dit. Geologi dan Sumberdaya Mineral.
- Waspodo, R. S. B., Kusumarini, S., dan Dewi, V. A. K. 2019. Prediksi Intrusi Air Laut Berdasarkan Nilai Daya Hantar Listrik dan Total Dissolved Solid di Kabupaten Tangerang. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 8(4).
- Zaenurrohman, J.A., Indrawan, I.G.B. and Permanajati, I., 2023. GIS-Based Land Capability for Settlements Area in Piyungan, Yogyakarta. *Sumatra Journal of Disaster, Geography and Geography Education*, 7(1), pp.1-8. doi: <https://doi.org/10.24036/sjdgge.v7i1.440>
- Zaenurrohman, J.A., Qur'an, N. I. M., Ismangil, Siswandi, and Candra, A., 2024. Volcanic Rock of Slamet Volcano as the Potential of Soil Ameliorant. *Indonesian Journal on Geoscience*, 11(1). <https://doi.org/10.17014/ijog.11.1.81-90>