

## Proses hidrogeokimia pengontrol salinitas air tanah tidak tertekan di utara Cekungan Air Tanah Jakarta

*Hydrogeochemical process as controller of the unconfined groundwater salinity to the north of Jakarta Groundwater Basin*

Taat Setiawan

Badan Geologi, Jl. Diponegoro No.57 Bandung, 40122

### ABSTRAK

Analisis fasies air tanah dan diagram bivariat berbagai parameter hidrokimia sangat bermanfaat untuk mengetahui proses-proses yang mengontrol salinitas air tanah tidak tertekan di utara Cekungan Air Tanah Jakarta. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembentukan fasies air tanah tidak tertekan terutama dipengaruhi oleh proses-proses hidrogeokimia berupa pencucian air tanah oleh perkolasi air hujan, tukar kation, dan penyusupan air laut. Pada Endapan Pematang Pantai (Qbr), pencucian air tanah oleh perkolasi air hujan berlangsung relatif cepat disertai oleh tukar kation antara ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  oleh ion  $\text{Na}^+$ , sehingga air tanah didominasi oleh fasies  $\text{Ca-HCO}_3$ ,  $\text{Mg-HCO}_3$ , dan  $\text{Na-HCO}_3$  dengan karakter air bersifat tawar hingga sedikit asin. Pada Endapan Aluvial (Qa), pencucian air tanah oleh perkolasi air hujan dan proses tukar kation antara ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  oleh ion  $\text{Na}^+$  berlangsung relatif lambat sehingga air tanah didominasi oleh fasies  $\text{Na-HCO}_3$  dan  $\text{Na-Cl}$  dengan karakter air bersifat sedikit asin hingga asin. Pada daerah pantai, beberapa lokasi menunjukkan adanya indikasi penyusupan air laut.

**Kata kunci:** pencucian air tanah, tukar kation, penyusupan air laut, Jakarta

### ABSTRACT

*Groundwater facies and bivariate analysis of various hydrochemistry parameters were very useful to know the processes that control the groundwater salinity at the northern part of Jakarta Groundwater Basin. The results show that the formation of groundwater facies mainly influenced by hydrogeochemical processes such as groundwater leaching due to rainwater percolation, cation exchange, and seawater intrusion. At the Beach Ridge Deposits (Qbr), groundwater leaching process due to rainwater percolation was relatively fast accompanied by cation exchange between  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  ions replaced by  $\text{Na}^+$  ions. The groundwater was dominated by  $\text{Ca-HCO}_3$ ,  $\text{Mg-HCO}_3$  facies and  $\text{Na-HCO}_3$  with fresh to slightly saline character. On Alluvial Deposits (Qa), the groundwater leaching process by rainwater percolation and cation exchange between  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  ions replaced by  $\text{Na}^+$  ions was relatively slow, so that the groundwater was dominated by  $\text{Na-HCO}_3$  facies and  $\text{Na-Cl}$  with slightly to moderately saline characters. In areas which are relatively close to the coast, some of them show the presence of seawater intrusion.*

**Keywords:** groundwater leaching, cation exchange, seawater intrusion, Jakarta

## PENDAHULUAN

Air tanah tidak tertekan di wilayah Cekungan Air Tanah (CAT) Jakarta pada umumnya memiliki kualitas yang buruk (Matahelumual dan Harnandi, 2010). Di utara CAT Jakarta, buruknya kualitas air tanah tidak tertekan tersebut salah satunya disebabkan oleh tingginya salinitas air tanah sehingga berasa payau. Polemik mengenai penyebab payaunya air tanah telah berkembang, salah satunya adalah akibat dari adanya intrusi atau penyusupan air laut. Selain itu, keadaan geologi 4.500 tahun yang lalu di utara wilayah CAT Jakarta merupakan rawa air payau dengan batas garis pantai berada di sekitar Kalideres (Wandowo, 2000). Diduga air tanah payau di daerah tersebut merupakan air yang terdapat pada lapisan lempung endapan rawa dengan kelulusan rendah sehingga sulit tercuci dan masih tersisa sampai sekarang.

Meskipun sebagian besar air tanah tidak tertekan di daerah penelitian bersifat payau, namun pada beberapa tempat dijumpai air tanah yang bersifat tawar. Hal tersebut sangat menarik untuk dilakukan penelitian mengenai hubungan antara kondisi geologi dengan proses hidrokimia atau yang lebih dikenal dengan proses hidrogeokimia yang mengontrol salinitas air tanah di daerah penelitian. Maksud dari penelitian ini adalah untuk melakukan analisis hidrokimia air tanah tidak tertekan yang dihubungkan dengan kondisi geologi lokasi pengambilan percontohan air, sedangkan tujuannya adalah untuk mengetahui proses hidrogeokimia yang menjadi penyebab tingginya salinitas air tanah tidak tertekan di utara CAT Jakarta.

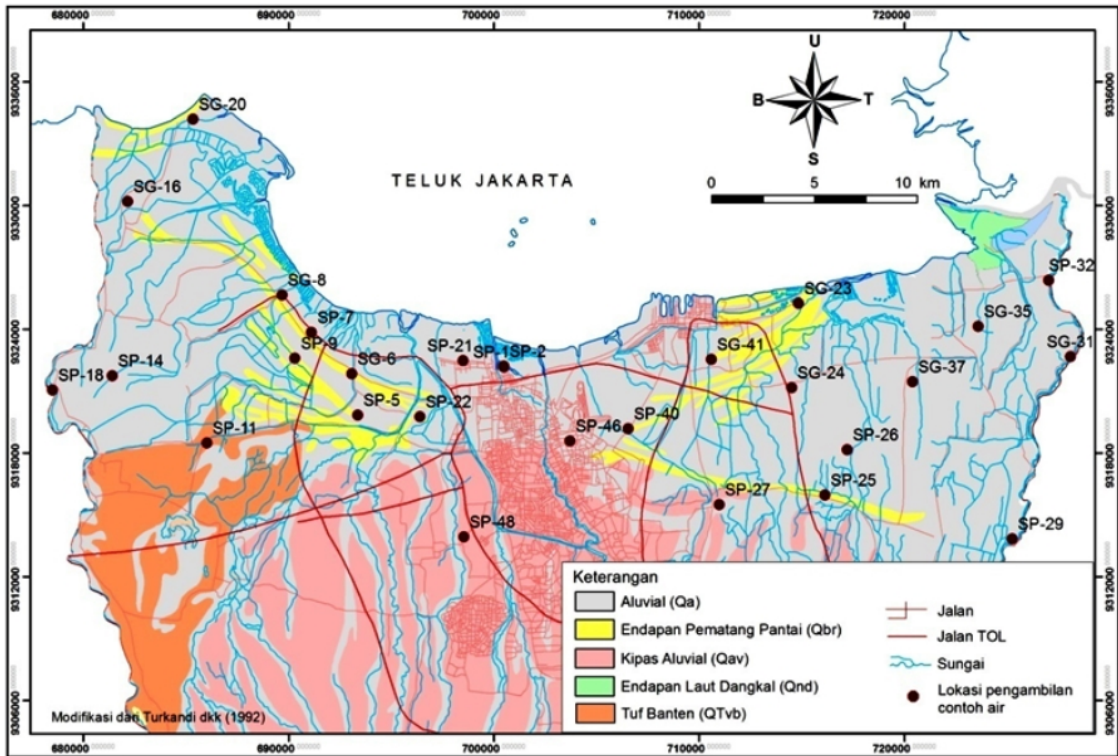
## Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian meliputi wilayah CAT Jakarta bagian utara yang terletak pada posisi  $106^{\circ} 36' 39,60''$  -  $107^{\circ} 3' 58,68''$  BT dan  $6^{\circ} 0' 31,12''$  -  $6^{\circ} 14' 7,27$  LS. Batas daerah penelitian di bagian utara adalah Laut Jawa, di bagian barat adalah Sungai Cisadane, di bagian timur adalah Sungai Bekasi, dan di bagian selatan adalah bagian tengah CAT Jakarta (Gambar 1).

Menurut Turkandi *et al.* (1992), daerah penelitian tersusun atas Endapan Aluvial (Qa), Endapan Pematang Pantai (Qbr), Kipas Aluvial (Qav), dan Tuf Banten (Qtvb). Endapan Aluvial (Qa) tersusun atas lempung, lanau, pasir, kerikil, kerakal, hingga bongkah. Endapan Pematang Pantai (Qbr) tersusun atas pasir halus hingga kasar dengan pemilahan baik dan terdapat cangkang moluska. Kipas Aluvial (Qav) tersusun atas tuf halus berlapis, tuf pasir, berselingan dengan tuf konglomeratan. Tuff Banten (Qtvb) tersusun atas tuf, tuf batuapung, dan tuf pasir (Gambar 2).



Gambar 1. Lokasi Penelitian.



Gambar 2. Peta geologi dan lokasi pengambilan contoh air tanah.

Menurut Poespowardoyo (1986), daerah penelitian termasuk dalam kelompok akuifer dengan aliran melalui ruang antar butir. Akuifer tersebut secara umum memiliki produktivitas sedang dengan penyebaran luas. Pada Endapan Aluvial (Qa), akuifer yang baik terdapat pada material yang bersifat pasir dengan tingkat kelulusan sedang. Batuan pada Endapan Pematang Pantai (Qbr) memiliki karakter hidrolis yang lebih baik dibanding Endapan Aluvial (Qa) karena relatif homogen berupa pasir sedang hingga halus, akan tetapi penyebarannya relatif sempit dengan arah memanjang mengikuti arah garis pantai. Akuifer pada satuan Kipas Aluvial (Qav) dan Tuf Banten (QTVb) umumnya mempunyai tingkat produktivitas sedang hingga tinggi de-

ngan penyebaran cukup luas di bagian tengah hingga selatan CAT Jakarta.

### Metodologi

Metodologi penelitian yang digunakan adalah metode hidrogeologi lapangan disertai dengan pengambilan percontoh air untuk analisis hidrokimia di laboratorium. Pengamatan dan pengukuran dilakukan pada sumur gali, sumur pantek, dan sumur bor dengan kedalaman < 40 m sepanjang 14 km ke arah selatan dari garis pantai. Pengukuran secara langsung di lapangan meliputi pengukuran muka air tanah dan pengukuran sifat kimia-fisika air berupa suhu, derajat keasaman (pH), dan daya hantar listrik (DHL). Analisis kandungan ion utama dilaku-

kan di laboratorium dengan menggunakan acuan *Standard Methods for The examination of Water and Wastewater 20th Edition 1998* (SMEWW) dan Standarisasi Nasional Indonesia (SNI) tahun 1991. Analisis fasies air tanah secara numerik dan grafis dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Aquachem 2010.1, sedangkan analisis bivariat parameter hidrokimia dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak MS Excel 2007, dan analisis spasial dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ArcMap 10.

**HASIL PENELITIAN**

Penelitian ini dilakukan pada pertengahan bulan November hingga awal bulan Desember 2011 dengan mengambil percontoh air tanah tidak tertekan pada 28 lokasi. Percontoh air tanah tersebut kemudian dilakukan analisis kandungan hidrokimia ion utama di laboratorium. Menurut Freeze dan Cherry (1979) kualitas hasil analisis laboratorium dapat dilihat dari *charge balance error* (CBE), dengan rumus:

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

Notasi Z adalah valensi ion,  $m_c$  adalah molalitas kation, dan  $m_a$  adalah molalitas anion. Harga CBE yang dapat diterima apabila < 5%. Dari 28 percontoh memiliki CBE antara 0,19% hingga 7,97% dengan rata-rata sebesar 2,96 %. Dari 28 percontoh tersebut, terdapat satu percontoh yang memiliki harga CBE lebih besar dari 5%. Menurut Kehew (2001) harga CBE lebih besar dari 5% selain disebabkan oleh kesalahan yang terjadi selama analisis, juga dapat disebabkan oleh adanya kation atau anion dengan konsentrasi relatif besar yang tidak teranalisis.

Analisis statistik 28 percontoh air tanah tidak tertekan dilakukan terhadap parameter hidrokimia ion utama yang bersifat dominan pada saat penelitian dilakukan. Hasil analisis statistik tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1 terlihat bahwa ion Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, dan HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> merupakan ion yang mendominasi pada percontoh air. Koefisien variasi dari kandungan ion Ca<sup>2+</sup> dan ion HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> relatif lebih kecil menunjukkan ion tersebut relatif stabil pada air tanah, tetapi kandungan ion Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, dan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> memiliki nilai relatif lebih besar yang mengindikasikan adanya perubahan atau perbedaan nilai pada setiap lokasi. Hal ini

Tabel 1. Statistik Parameter Hidrokimia Ion Utama Air Tanah Tidak Tertekan

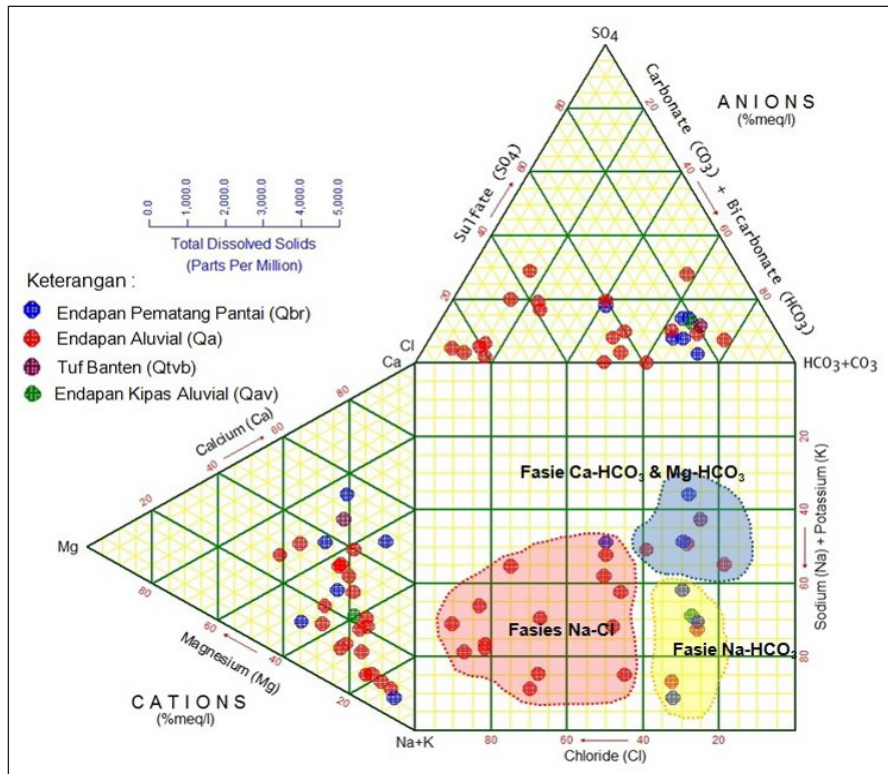
Komponen	Maksimum (mg/l)	Minimum (mg/l)	Rata-rata (mg/l)	Strandar Deviasi	Koefisien Variasi
Na <sup>+</sup>	900,00	32,00	274,79	248,15	90,31
Ca <sup>2+</sup>	275,20	15,41	76,30	52,18	68,38
Mg <sup>2+</sup>	229,10	10,24	49,61	49,59	99,95
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	716,92	148,28	381,67	145,97	38,24
Cl <sup>-</sup>	1805,81	21,85	411,56	503,08	122,24
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	410,50	0,70	85,80	82,22	95,83

menunjukkan ion-ion tersebut kemungkinan sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan seperti litologi, lokasi pengambilan, dan parameter lainnya. Berdasarkan atas hal tersebut, maka analisis hidrogeokimia dilakukan dengan membahas parameter hidrokimia ion utama dengan faktor lainnya seperti litologi dan lokasi pengambilan percontoh air.

### PEMBAHASAN DAN DISKUSI

Analisis fasies air tanah sangat bermanfaat dalam melakukan identifikasi proses-proses hidrogeokimia pada setiap zona air tanah yang dicirikan oleh kandungan ion-ion terlarut (Hiscock, 2005). Metode analisis yang digunakan dalam interpretasi fasies air tanah di daerah

penelitian menggunakan Diagram Durov. Analisis dengan menggunakan Diagram Durov merupakan cara yang efektif untuk mengidentifikasi fasies air tanah dan proses pencampuran air tanah dengan air tawar pada proses evolusi kimia air tanah (Younger, 2007). Berdasarkan pengelompokkan sifat air menggunakan Diagram Durov diketahui fasies air tanah secara garis besar dikelompokkan menjadi tiga kelompok yaitu fasies  $\text{Ca-HCO}_3$  dan  $\text{Mg-HCO}_3$  (6 percontoh), fasies  $\text{Na-HCO}_3$  (11 percontoh), dan fasies  $\text{Na-Cl}$  (11 percontoh) (Gambar 3). Karakteristik hidrokimia fasies air tanah berupa daya hantar listrik, zat padat terlarut, dan kandungan ion utama masing-masing kelompok air tanah dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 3. Diagram Durov percontoh air tanah tidak tertekan daerah penelitian.

Tabel 2. Karakteristik Hidrokimia Fasies Air Tanah Daerah Penelitian

Parameter Hidrokimia	Fasies Ca-HCO <sub>3</sub> dan Mg-HCO <sub>3</sub>			Fasies Na-HCO <sub>3</sub>			Fasies Na-Cl		
	Min.	Maks.	Rata-rata	Min.	Maks.	Rata-rata	Min.	Maks.	Rata-rata
Daya hantar listrik ( $\mu$ S/cm)	370,00	913,00	675,00	613,00	1.446,00	1.116,00	1.590,00	5.850,00	3.319,00
Zat padat terlarut (mg/l)	306,00	668,00	513,00	640,00	1.968,00	1.053,20	1.312,00	4.824,00	2.693,00
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	30,30	102,40	69,67	15,40	66,60	44,48	41,80	275,20	111,74
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	10,20	45,40	25,43	10,70	56,30	26,44	29,20	229,10	85,97
Na <sup>+</sup> (mg/l)	32,00	102,00	60,33	72,00	272,00	173,09	172,00	900,00	493,45
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	148,28	357,02	265,49	316,71	716,92	465,45	163,39	547,77	361,27
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	21,85	180,58	81,41	35,67	332,63	140,05	309,89	1.805,81	863,16

Salah satu parameter hidrokimia yang dapat digunakan untuk mengetahui tingkat salinitas air tanah adalah zat padat terlarut (Hem, 1970 dalam Thangarajan, 2007). Menurut Davis dan De Wiest (1967), zat padat terlarut merupakan jumlah semua mineral terlarut yang tertinggal ketika air teruapkan semuanya atau jumlah konsentrasi garam yang terkandung dalam air. Berdasarkan klasifikasi salinitas air tanah menurut USGS (Hem, 1970 dalam Thangarajan, 2007)(Tabel 3), maka fasies Ca-HCO<sub>3</sub> dan Mg-HCO<sub>3</sub> merupakan air tanah yang bersifat tawar, fasies air tanah Na-HCO<sub>3</sub> merupakan air tanah tawar hingga sedikit asin, dan fasies air tanah Na-Cl merupakan air tanah yang bersifat sedikit asin hingga asin.

Hasil pencocokan lokasi pengambilan percontoh air dengan Peta Geologi Lembar Jakarta dan Kepulauan Seribu Skala 1 : 100.000 (Tur-

kandi *et al.*, 1992) menunjukkan bahwa dari 19 percontoh yang berasal dari Endapan Aluvial (Qa), 10 percontoh (53%) termasuk dalam fasies Na-Cl, tujuh percontoh (37%) termasuk dalam fasies Na-HCO<sub>3</sub>, dan selebihnya, yaitu dua percontoh (10%) termasuk dalam fasies Mg-HCO<sub>3</sub>. Dari tujuh percontoh yang berasal dari Endapan Pematang Pantai (Qbr), masing-masing tiga percontoh memiliki fasies Ca-HCO<sub>3</sub> dan Na-HCO<sub>3</sub>, dan satu percontoh memiliki fasies Na-Cl. Satu percontoh dari Endapan Kipas Aluvial (Qav) memiliki fasies Ca-HCO<sub>3</sub> dan satu percontoh dari Tuf Banten (Qtvb) memiliki fasies Na-HCO<sub>3</sub> (Tabel 4).

Berdasarkan analisis fasies air tanah secara spasial terlihat bahwa pola aliran air tanah tidak tertekan pada daerah penelitian telah mengalami perkembangan evolusi hidrogeokimia dari fasies Ca-HCO<sub>3</sub> dan Mg-HCO<sub>3</sub>, kemu-

Tabel 3. Klasifikasi Derajat Salinitas Air berdasarkan Zat Padat Terlarut (TDS) menurut USGS (Hem, 1970 dalam Thangarajan, 2007)

<i>Description</i>	TDS (mg/l)
<i>Fresh</i>	< 1000
<i>Slightly saline</i>	1000 – 3000
<i>Moderately saline</i>	3000 – 10000
<i>Very saline</i>	10000 – 35000
<i>Brine</i>	> 35000

Tabel 4. Litologi Lokasi Pengambilan Percontoh Air dan Fasies Air Tanah

Litologi	Kode Percontoh Air	Fasies Air Tanah
Endapan alluvial (Qa)	SP-27, SP-29	Mg-HCO <sub>3</sub>
	SP-1, SP-14, SG-16, SP-18, SP-21, SP-26, SP-46	Na-HCO <sub>3</sub>
	SP-2, SP-5, SP-7, SG-8, SG-20, SG-24, SG-31, SP-32, SG-35, SG-37	Na-Cl
Endapan pematang pantai (Qbr)	SG-6, SP-25, SP-40	Ca-HCO <sub>3</sub>
	SP-9, SP-22, SG-41	Na-HCO <sub>3</sub>
	SG-23	Na-Cl
Endapan kipas alluvial (Qav)	SP-48	Ca-HCO <sub>3</sub>
Tuff Banten (Qtvb)	SP-11	Na-HCO <sub>3</sub>

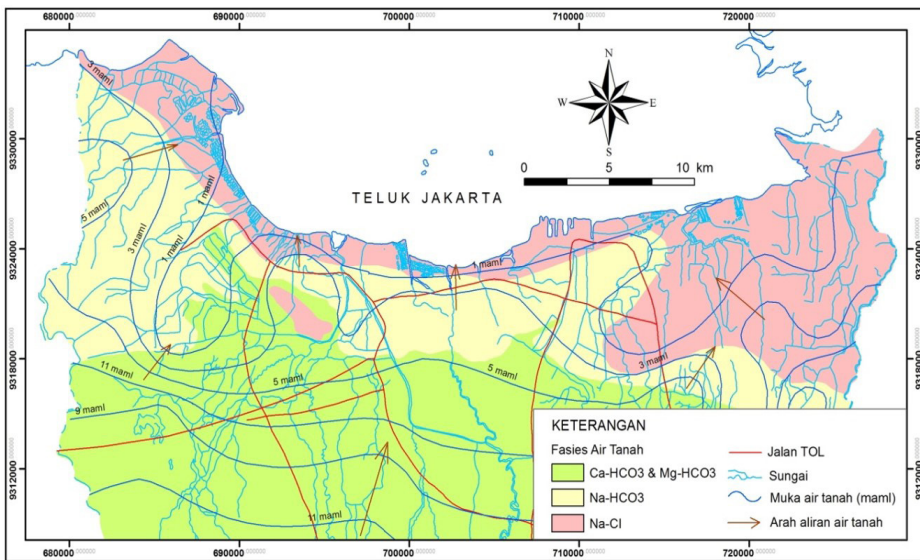
dian mengalami perubahan menjadi fasies Na-HCO<sub>3</sub>, dan berakhir pada fasies Na-Cl (Gambar 4). Karakteristik fasies air tanah tersebut juga berhubungan dengan batuan penyusun akuifer daerah penelitian. Percontoh air yang berasal dari Endapan Aluvial (Qa) memiliki karakter air yang bersifat sedikit asin hingga asin, air tanah yang berasal dari Endapan Pematang Pantai (Qbr) memiliki karakter air yang bersifat tawar hingga sedikit asin, dan air tanah

yang berasal dari Endapan Aluvial (Qa) dan Tuf Banten (Qtvb) bersifat tawar.

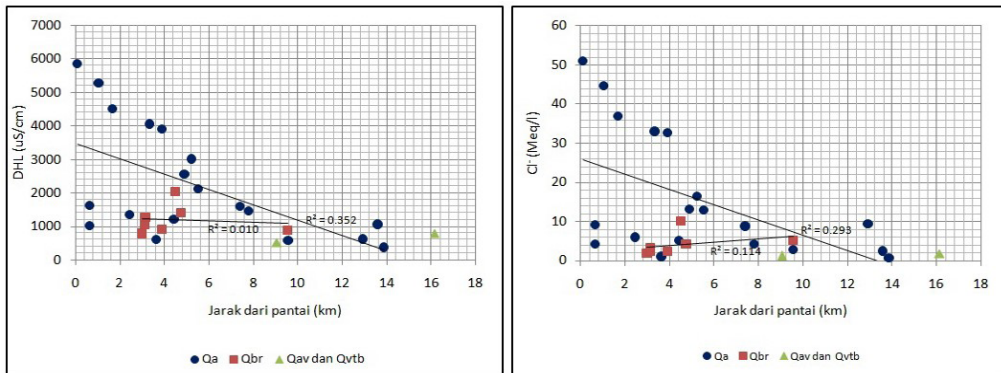
Untuk mengetahui kontrol proses hidrogeokimia yang berpengaruh terhadap salinitas air tanah tidak tertekan di daerah penelitian dilakukan berbagai analisis bivariat parameter hidrokimia yang saling berhubungan. Analisis lebih ditekankan pada percontoh air yang berasal dari Endapan Aluvial (Qa) dan Endapan Pematang

Pantai (Qbr) dengan alasan bahwa batuan tersebut selama pengendapannya dipengaruhi oleh lingkungan laut dangkal, sehingga rentan terhadap permasalahan salinitas air tanah. Dari grafik bivariat antara DHL dan Cl<sup>-</sup> dengan jarak lokasi pengambilan percontoh air terhadap pantai (Gambar 5) terlihat bahwa percontoh air tanah yang berasal dari Endapan Aluvial (Qa) memi-

liki korelasi diantara ketiga parameter tersebut, meskipun dengan tingkat hubungan yang rendah ( $R^2 = 0,352$  dan  $0,293$ ). Percontoh air tanah dari Endapan Pematang Pantai (Qbr) tidak memiliki hubungan antara besarnya nilai DHL dan Cl<sup>-</sup> dengan jarak dari pantai ( $R^2 = 0,01$  dan  $0,114$ ). Hal tersebut menunjukkan bahwa percontoh air tanah yang diambil pada Enda-



Gambar 4. Zonasi fasies air tanah tidak tertekan.



Gambar 5. Grafik bivariat antara Jarak lokasi contoh air dari pantai dengan parameter DHL dan Cl<sup>-</sup>.

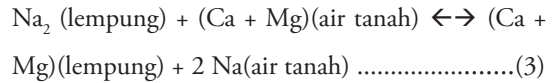


pan Aluvial (Qa), memiliki kecenderungan semakin mendekati pantai maka salinitas air tanah semakin tinggi, sedangkan pada Endapan Pematang Pantai (Qbr) pengaruh jarak dengan pantai tidak berarti.

Koefisien rasio Na/Cl merupakan parameter hidrogeokimia untuk mengetahui derajat konsentrasi ion Natrium yang nilainya berbanding terbalik dengan salinitas. Rasio Na/Cl pada air laut adalah sekitar 0,85 (Richter dan Kreitler, 1991) dan semakin tinggi rasio Na/Cl maka salinitas semakin rendah. Rasio Na/Cl <1 kemungkinan disebabkan oleh proses pencampuran atau penyusupan air laut ke dalam akuifer atau oleh karena rendahnya tingkat pencucian air hujan yang mengalami perkolasi menjadi air tanah (Sammans dan Jaks, 2007), sedangkan tingginya nilai rasio Na/Cl menunjukkan adanya proses interaksi antara air tanah dengan batuan melalui proses hidrolisis dan reaksi asam basa (Yang dan Guang, 2013). Tingginya rasio Na/Cl juga bisa dipengaruhi oleh proses tukar kation antara  $Ca^{2+}$  dengan  $Na^+$ . Kecenderungan adsorpsi di antara kation utama pada sistem air alami menurut Sposito (1989) dalam Kehew (2001) adalah sebagai berikut:

(teradsorpsi kuat)  $Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > Na^+$  (teradsorpsi lemah) .....(2)

Pada aquifer yang bersisipan dengan lapisan lempung,  $Ca^{2+}$  dan  $Mg^{2+}$  pada air akan tergantikan dengan  $Na^+$  yang sebelumnya teradsorpsi pada permukaan mineral lempung. Proses tersebut akan menurunkan konsentrasi  $Ca^{2+}$  dan  $Mg^{2+}$  dan menaikkan konsentrasi ion  $Na^+$  (Hidalgo dan Cruz-Sanjulian, 2001). Mekanisme tersebut dapat digambarkan menurut reaksi berikut:

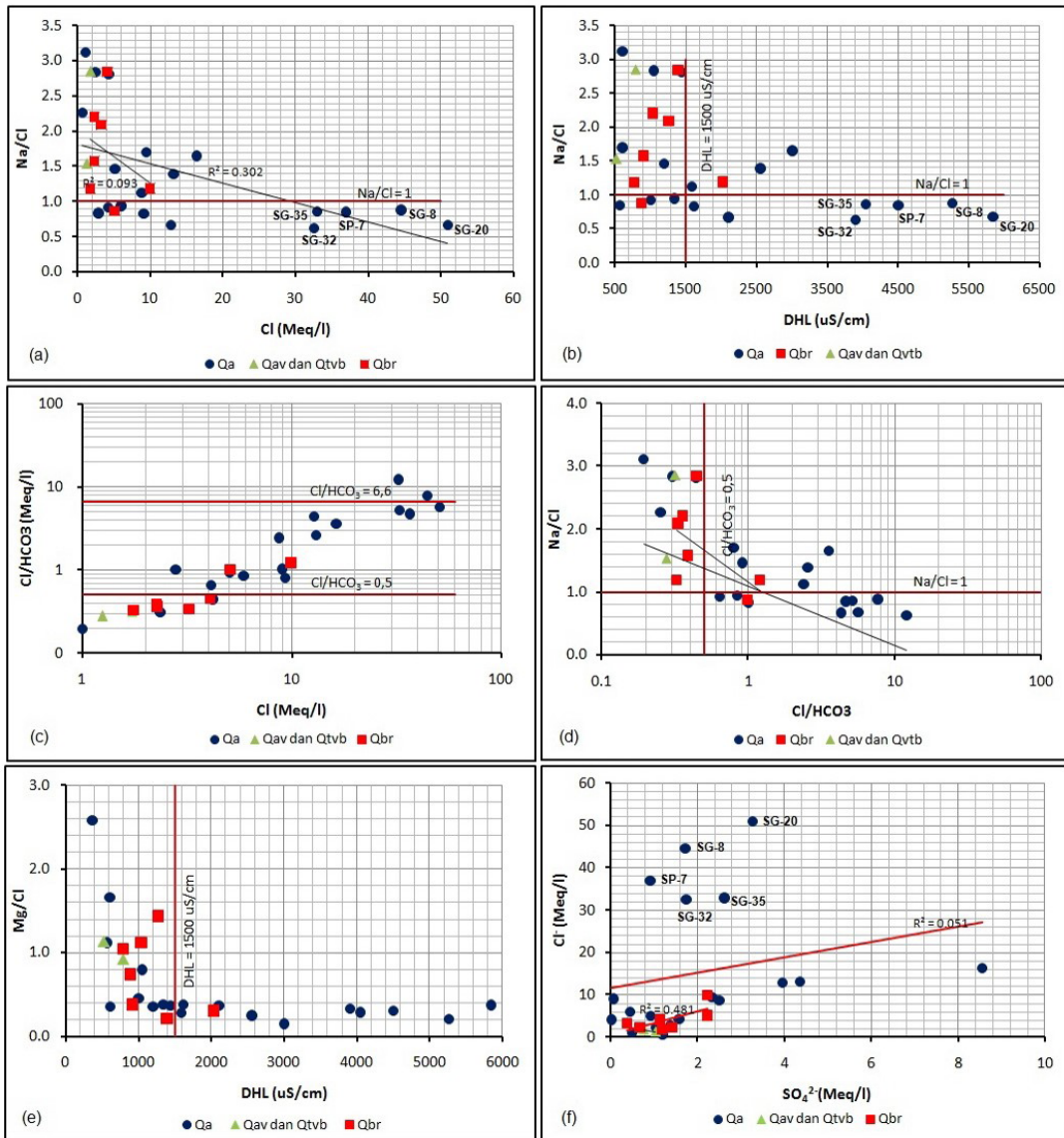


Untuk mengetahui proses hidrogeokimia pada percontoh air tanah di daerah penelitian maka dilakukan analisis bivariat berbagai parameter hidrokimia ion utama (Gambar 6). Pada grafik bivariat antara konsentrasi ion  $Cl^-$  dengan rasio Na/Cl (Gambar 6a) terlihat bahwa percontoh air tanah yang berasal dari Endapan Pematang Pantai (Qbr) tidak memiliki hubungan yang kuat antara tingginya konsentrasi ion  $Cl^-$  dengan rasio Na/Cl ( $R^2 = 0,093$ ) dan dominan memiliki rasio Na/Cl > 1. Percontoh air yang berasal dari Endapan Aluvial (Qa) memiliki hubungan yang lebih kuat antara tingginya konsentrasi ion  $Cl^-$  dengan rasio Na/Cl ( $R^2 = 0,302$ ) dan memiliki jumlah percontoh air yang seimbang antara yang memiliki rasio Na/Cl < 1 dengan yang memiliki rasio Na/Cl > 1. Hal tersebut menunjukkan adanya faktor yang mempengaruhi tingginya konsentrasi ion  $Cl^-$  yang tidak diikuti oleh tingginya konsentrasi ion  $Na^+$  pada percontoh air yang berasal dari Endapan Aluvial (Qa), yaitu proses penyusupan air laut. Percontoh tersebut berasal dari lokasi SP-7, SG-8, SG-20, SG-32, dan SG-35 yang berjarak antara 0,1 hingga 3,9 km (rata-rata 2 km) dari pantai.

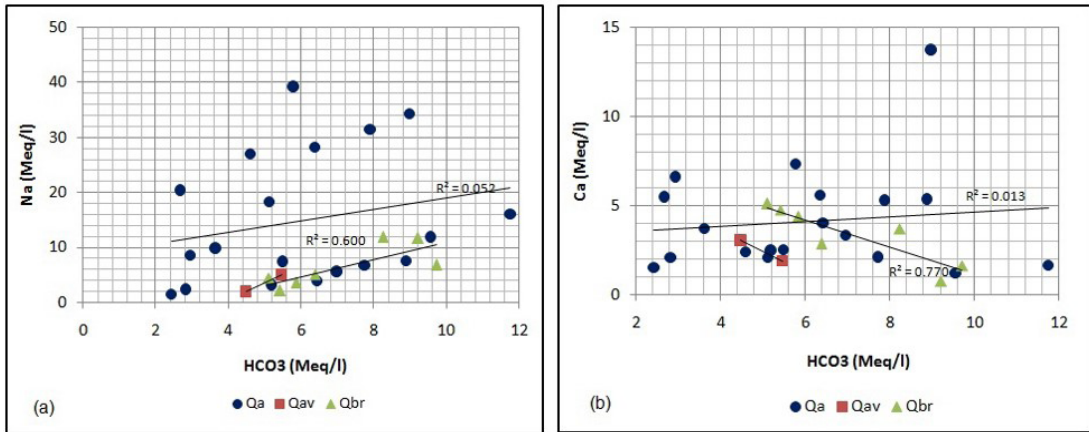
Pada grafik bivariat antara nilai DHL dengan rasio Na/Cl (Gambar 6b) diketahui bahwa pada nilai DHL < 1500 uS/cm, percontoh air dari Endapan Aluvial (Qa) memiliki rasio Na/Cl cenderung turun apabila DHL naik yang menunjukkan bahwa keasinan air tanah lebih ditentukan oleh tingginya konsentrasi ion  $Cl^-$ . Percontoh air dari Endapan Pematang Pantai (Qbr) memiliki nilai rasio Na/Cl naik apabila DHL naik yang menunjukkan bahwa keasinan

air tanah lebih ditentukan oleh tingginya konsentrasi ion  $\text{Na}^+$  akibat adanya proses tukar kation. Pada  $\text{DHL} > 1500 \text{ uS/cm}$ , percontoh air dari Endapan Aluvial (Qa) didominasi oleh rasio  $\text{Na}/\text{Cl} < 1$  yang menunjukkan adanya proses penyusutan air laut.

Grafik bivariat antara  $\text{Cl}^-$  dengan rasio  $\text{Cl}/\text{HCO}_3^-$  (Gambar 6c) menunjukkan bahwa percontoh air yang berasal dari Endapan Aluvial (Qa), rasio  $\text{Cl}/\text{HCO}_3^-$  berkisar antara 0,19 hingga 12,15 (rata-rata 2,88), sedangkan percontoh air yang berasal dari Endapan Pematang Pantai



Gambar 6. Grafik bivariat parameter hidrokimia ion utama.



Gambar 7. Grafik bivariat antara konsentrasi ion  $\text{HCO}_3^-$  dengan ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Ca}^{2+}$ .

(Qbr) memiliki  $\text{Cl}/\text{HCO}_3^-$  antara 0,33 hingga 1,1 (rata-rata 0,58). Menurut Revelle (1941), pengaruh keasinan air tanah berdasarkan nilai  $\text{Cl}/\text{HCO}_3^-$  adalah  $< 0,5$  untuk tidak terpengaruh,  $0,55$  hingga  $6,6$  untuk terpengaruh sedikit hingga sedang, dan  $> 6,6$  untuk terpengaruh tinggi. Berdasarkan hal tersebut terlihat bahwa percontoh air tanah dari Endapan Aluvial (Qa) sebagian besar terpengaruh sedikit hingga sedang oleh adanya penyusupan air laut, sedangkan percontoh air yang berasal dari Endapan Pematang Pantai (Qbr) relatif tidak terpengaruh hingga terpengaruh sedikit oleh penyusupan air laut.

Pada grafik bivariat antara rasio  $\text{Cl}/\text{HCO}_3^-$  dengan  $\text{Na}/\text{Cl}$  (Gambar 6d) terlihat bahwa percontoh air yang berasal dari Endapan Pematang Pantai (Qbr) sebagian besar masuk pada zona  $\text{Na}/\text{Cl} > 1$  dan  $\text{Cl}/\text{HCO}_3^- < 0,5$  yang mengindikasikan adanya proses tukar kation dan sedikit terpengaruh oleh penyusupan air laut. Percontoh air yang berasal dari Endapan Aluvial (Qa) memperlihatkan keseimbangan antara percontoh air yang memiliki rasio  $\text{Na}/\text{Cl} < 1$  dengan

rasio  $\text{Na}/\text{Cl} > 1$ , akan tetapi rasio  $\text{Cl}/\text{HCO}_3^-$  dominan berada pada nilai  $> 0,5$ . Hal tersebut menunjukkan bahwa proses tukar kation pada sebagian lokasi sudah berlangsung dan sebagian lagi masih terpengaruh oleh proses penyusupan air laut. Lokasi yang terpengaruh oleh penyusupan air laut terlihat pada percontoh air dengan rasio  $\text{Na}/\text{Cl} < 1$  dan rasio  $\text{Cl}/\text{HCO}_3^- > 4$  yaitu pada lokasi SP-7, SG-8, SG-20, SG-32, dan SG-35 yang jaraknya relatif dekat dengan pantai, yaitu rata-rata sekitar 2 km.

Pada grafik bivariat antara DHL dengan  $\text{Mg}/\text{Cl}$  (Gambar 6e) terlihat bahwa pada nilai DHL  $< 1500$  uS/cm, percontoh air pada umumnya memiliki rasio  $\text{Mg}/\text{Cl}$  relatif lebih tinggi dibanding dengan percontoh air pada nilai DHL  $> 1500$  uS/cm. Hal tersebut menunjukkan tingginya proses pencucian air hujan yang mengalami perkolasi, terutama pada percontoh air yang berasal dari Endapan Pematang Pantai (Qbr).

Pada grafik bivariat antara konsentrasi ion  $\text{SO}_4^{2-}$  dengan ion  $\text{Cl}^-$  (Gambar 6f) terlihat bahwa percontoh air yang berasal dari Endapan Pematang Pantai (Qbr) pada konsentrasi ion  $\text{SO}_4^{2-}$  dan ion

Cl<sup>-</sup> yang relatif rendah menunjukkan hubungan yang linear antara kedua parameter tersebut. Hal tersebut menunjukkan adanya proses pencucian oleh air hujan yang mengalami perkolasi. Konsentrasi ion SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> dan ion Cl<sup>-</sup> relatif sebanding karena kedua unsur tersebut relatif bersifat konservatif pada air tanah (Sahli *et al.*, 2013). Pada percontohan air yang berasal dari Endapan Aluvial (Qa) dengan konsentrasi Cl<sup>-</sup> yang tinggi tidak menunjukkan adanya hubungan yang linear dengan konsentrasi ion SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Hal tersebut menunjukkan bahwa percontohan air tersebut berhubungan dengan penyusupan air laut yang terjadi pada saat ini. Percontohan air tersebut berasal dari lokasi SP-7, SG-8, SG-20, SG-32, dan SG-35 yang jaraknya relatif dekat dengan pantai, yaitu rata-rata sekitar 2 km.

Pada grafik bivariat antara konsentrasi ion HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> dengan ion Na<sup>+</sup> (Gambar 7a) diketahui bahwa percontohan yang berasal dari Endapan Pematang Pantai (Qbr) memiliki hubungan yang positif antara tingginya konsentrasi ion HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> dengan ion Na<sup>+</sup> (R<sup>2</sup>=0,60). Hal tersebut berarti bahwa pada Endapan Pematang Pantai (Qbr), proses pencucian air tanah akan diikuti oleh proses tukar kation sehingga tidak hanya memperkaya kandungan ion HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, tetapi juga dengan ion Na<sup>+</sup>. Pada percontohan air yang berasal dari Endapan Aluvial (Qa), kedua parameter tersebut relatif tidak memiliki hubungan (R<sup>2</sup>=0,05), sehingga diinterpretasikan bahwa proses pencucian relatif sulit terjadi atau terjadi dengan proses yang lambat. Pada grafik bivariat antara konsentrasi ion HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> dengan ion Ca<sup>2+</sup> (Gambar 7b) terlihat bahwa pada percontohan air yang berasal dari Endapan Pematang Pantai (Qbr), konsentrasi ion Ca<sup>2+</sup> memiliki hubungan yang negatif dengan ion HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (R<sup>2</sup>=0,77),

yaitu semakin tinggi ion HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> maka ion Ca<sup>2+</sup> semakin sedikit. Hal tersebut menunjukkan bahwa perkolasi air hujan menjadi air tanah (pengkayaan ion Ca<sup>2+</sup> dan ion HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) berlangsung efektif yang diikuti oleh proses tukar kation berupa penyerapan ion Ca<sup>2+</sup> dan pelepasan ion Na<sup>+</sup> oleh material lempungan.

## KESIMPULAN

Air tanah tidak tertekan di wilayah Cekungan Air Tanah Jakarta bagian utara dalam perjalanannya telah mengalami perkembangan evolusi hidrogeokimia dari fasies Ca-HCO<sub>3</sub> dan Mg-HCO<sub>3</sub>, kemudian mengalami perubahan menjadi fasies Na-HCO<sub>3</sub>, dan berakhir pada fasies Na-Cl. Karakteristik fasies air tanah tersebut juga berhubungan dengan batuan penyusun akuifer dan salinitas air tanah. Percontohan air yang berasal dari Endapan Aluvial (Qa) memiliki karakter air tanah yang bersifat sedikit payau hingga payau (salinitas sedang hingga tinggi), air yang berasal dari Endapan Pematang Pantai (Qbr) memiliki karakter air tanah yang bersifat tawar hingga sedikit payau (salinitas rendah hingga sedang), dan air tanah yang berasal dari Endapan Kipas Aluvial (Qav) dan Tuf Banten (Qtvb) bersifat tawar (salinitas rendah).

Hasil analisis berbagai parameter hidrokimia menunjukkan bahwa pembentukan fasies air tanah sangat dipengaruhi oleh proses-proses hidrogeokimia berupa pencucian air tanah oleh perkolasi air hujan, tukar kation, dan pencampuran atau penyusupan air laut. Pada Endapan Pematang Pantai (Qbr), pencucian air tanah oleh perkolasi air hujan berlangsung relatif cepat disertai oleh tukar kation antara ion Ca<sup>2+</sup> dan Mg<sup>2+</sup> pada air tanah dengan ion Na<sup>+</sup> pada material lempungan, sehingga air

tanah didominasi oleh fasies Ca-HCO<sub>3</sub>, Mg-HCO<sub>3</sub>, dan Na-HCO<sub>3</sub>. Pada Endapan Aluvial (Qa), pencucian air tanah oleh perkolasi air hujan dan proses tukar kation berlangsung relatif lambat sehingga air tanah didominasi oleh fasies Na-HCO<sub>3</sub> dan Na-Cl. Pada daerah pesisir, beberapa lokasi menunjukkan adanya indikasi penyusupan air laut.

## ACUAN

- Davis, S. N. dan De Wiest, R. J. M., 1967, *Hydrogeology, 1st ed.*, John Wiley and Sons, New York
- Freeze, R. A., dan Cherry, J. A., 1979, *Groundwater*, Prentice Hall, New Jersey
- Hidalgo, M.C. dan Cruz-Sanjulian, J., 2001, Groundwater Composition, Hydrochemical Evolution and Mass Transfer in a Regional Detrital Aquifer (Baza basin, southern Spain), *Appl. Geochem, Vol. 16*, 745–758 p.
- Hiscok, K.M., 2005, *Hydrogeology, Principles and Practice*, Blackwell Publishing, USA
- Kehew, A.E., 2001, *Applied Chemical Hydrogeology*, Prentice Hall, New Jersey
- Matahelumual, B.C., dan Harnandi, D., 2010, *Pemantauan Kuantitas dan Kualitas Air Tanah di Cekungan Air Tanah Jakarta*, Pusat Lingkungan Geologi, Badan Geologi, Bandung, tidak dipublikasikan
- Poespowardoyo, S., 1986, *Peta Hidrogeologi Indonesia Lembar Jakarta, Jawa, Skala 1 : 250.000*, Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Bandung
- Revelle, R., 1941, *Criteria for Recognition of Sea Water in Groundwater*, Trans. Am. Geophys. Union 22:593–597 p.
- Richter, B.C. and Kreitler, C.W., 1991, *Identification of Sources of Groundwater Salinization Using Geochemical Techniques: U.S. Environmental Protection Agency document number 600/2-91/064*, 259 p.
- Sahli, H., Tagorti, M.A., dan Tlig, S., 2013, Groundwater Hydrochemistry and Mass Transfer in a Stratified Aquifer System (Jefara –Gabes Basin, Tunisia), *Larbyss Journal, ISSN 1112-3680*, pp 95-108.
- Sammas, M.I. dan Jacks, G., 2007, Sea Water Intrusion in the Salalah Plain Aquifer, Oman, *Journal of Environmental Hydrology, Vol. 15*
- Thangarajan, M., 2007, *Groundwater: Resource Evaluation, Augmentation, Contamination, Restoration, Modeling and Management*, Springer, New Delhi, India
- Turkandi, T., Sidarto, dan Agustiyanto, D.A., 1992, *Peta Geologi Lembar Jakarta dan Kepulauan Seribu, Skala 1 : 100.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung
- Wandowo, 2000, *Teknologi Isotop Alam Untuk Evaluasi Dinamika Aliran Air Tanah: Studi Daerah Resapan dan Intrusi Air Laut Akuifer Jakarta dan Sekitarnya*, Badan Tenaga Nuklir Nasional
- Yang, He Hai dan Guang, Li Xu, 2013, Hydrochemical Characteristics and Evolution Laws of Shallow Groundwater in Shuangliao City, *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, Vol 5 (11)*, 283 – 288 p.
- Younger, P.L., 2007, *Groundwater in the Environment, An Introduction*, Blackwell Publishing, USA

