

Interpretasi data geolistrik untuk penentuan batas antara air tanah tawar dan payau di daerah Dalen, Provinsi Drenthe, Belanda

Goelectrical Data Interpretation for Determining Interface Boundary Between Fresh and Brackish Groundwater in Dalen Area, Drenthe Province, The Netherlands

Intining

Badan Geologi

Jln. Diponegoro 57 Bandung

ABSTRAK

Daerah penelitian terletak di Dalen, Provinsi Drenthe, Belanda. Di area ini terdapat sumur produksi air bersih yang telah berproduksi sejak awal abad 20 dan air yang dihasilkan tetap bersifat tawar. Padahal menurut studi TNO (1978), di selatan Dalen, yaitu di Coevorden, batas antara air tanah tawar dan payau (*interface*) pada tahun 1976 berada pada kedalaman sekitar 20 m di bawah permukaan tanah. Penelitian bertujuan untuk mengetahui posisi *interface* dengan menggunakan data geolistrik. Data geolistrik diinterpretasi untuk mengetahui posisi batas litologi beserta nilai resistivitas batuan dengan acuan data litologi dari sumur bor serta data resistivitas yang diperoleh dari logging. Kemudian berdasarkan pada data kualitas air tanah, nilai konduktivitas batuan dikaitkan dengan nilai kadar klorida, sehingga didapat posisi kedalaman *interface*. *Interface* ini terletak pada kadar klorida 150 mg/L, sesuai dengan standar air minum Belanda. Pola posisi kedalaman *interface* yang diperoleh dari studi ini pada dasarnya sama dengan hasil studi TNO (1978). *Interface* terdangkal berada pada permukaan tanah, terletak di selatan Coevorden, di area antara Sungai Vecht dan Schoonebeker Diep. Dangkalnya *interface* tidak terkait dengan keberadaan sumur produksi di daerah ini. Sehingga sumur-sumur tersebut, termasuk yang terdapat di Dalen, masih aman dari kemungkinan terjadinya *upconing* air payau.

Kata kunci: geolistrik, kadar klorida, *interface*, air tanah payau

ABSTRACT

*The study area is located in Dalen, Drenthe Province, The Netherlands. In this area, there is a fresh water producing well that has been in production since the early 20th century. Meanwhile, based on TNO study (1978), to the south of Dalen, namely in Coevorden, the boundary between fresh and brackish groundwater (*interface*) in 1976 was at a depth of approximately 20 m below the ground surface. The purpose of this research is to determine the interface position using geoelectrical data. The geoelectrical data is interpreted to determine the depth of each lithology and its resistivity using borehole data and logging data as the reference. Furthermore, based on the water quality data, a relationship between chloride concentration and electrical conductivity values is established. Based on this relationship, interface positions can be determined. The interface is located at groundwater with chloride concentration of 150 mg/L,*

according to the drinking water standard in The Netherlands. The interface positions obtained from this study has a similar pattern with the result of TNO's research (1978). The shallowest interface is at the surface, located in Coevorden, between Vecht River and Schoonebeker Diep. The interface positions are not connected with the production wells operating in the study area. So that, those wells are still safe from the upconing brackish water.

Keywords: geoelectrical, chloride concentration, interface, brackish groundwater

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Daerah studi berada pada koordinat $52,46^{\circ}$ - $52,78^{\circ}$ LU dan $6,59^{\circ}$ - $6,89^{\circ}$ BT atau 237000 - 257000 dan 498000 - 534000 koordinat RD (*Rijksdriehoekstelsel*, sistem koordinat Belanda). Dalen merupakan suatu desa di Provinsi Drenthe, Belanda (Gambar 1). Di desa ini terdapat beberapa sumur produksi milik *Waterleidingmaatschappij Drenthe* (WMD). WMD merupakan perusahaan yang menyuplai air minum di seluruh Provinsi Drenthe dan sebagian Provinsi Overijssel. Provinsi Overijssel terletak di selatan Provinsi Drenthe. Sumur

produksi tersebut sudah beroperasi selama lebih dari 100 tahun.

Upconing air asin merupakan ancaman bagi keberlangsungan sumur produksi di area ini. Hal ini didasarkan pada studi TNO (*Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek*) yang dilaksanakan pada tahun 1976 dan dipublikasikan pada tahun 1978. Studi ini menyebutkan bahwa di Coevorden (desa di selatan Dalen), batas antara air tanah tawar dan payau berada pada kedalaman sekitar 20 m di bawah permukaan (Gambar 2). Area studi di sisi utara dan selatan tidak memiliki data dari TNO, karena penelitian yang dilakukan oleh TNO lebih meluas ke arah barat dan timur daripada studi yang dilakukan oleh penulis.

Tujuan Penelitian

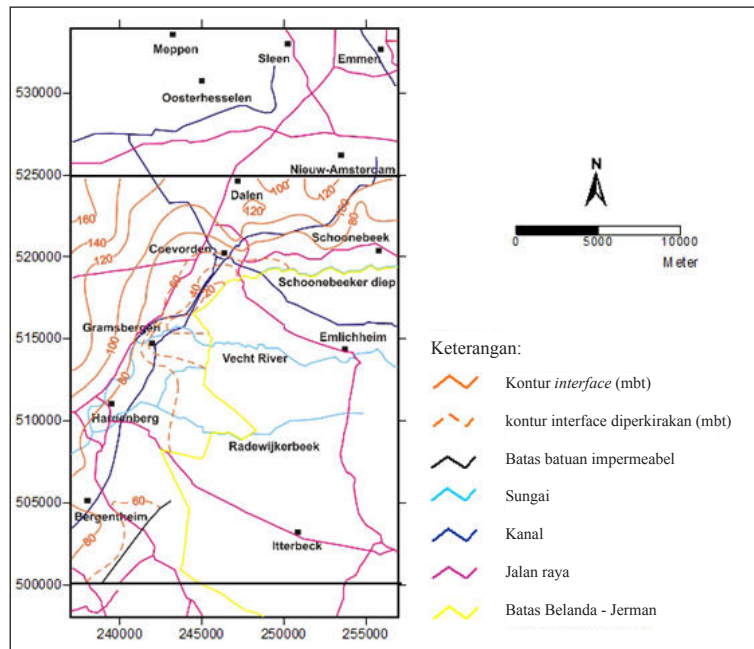
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui posisi batas antara air tanah tawar dan payau (*interface*) di daerah penelitian dengan menggunakan data geolistrik.

Metodologi

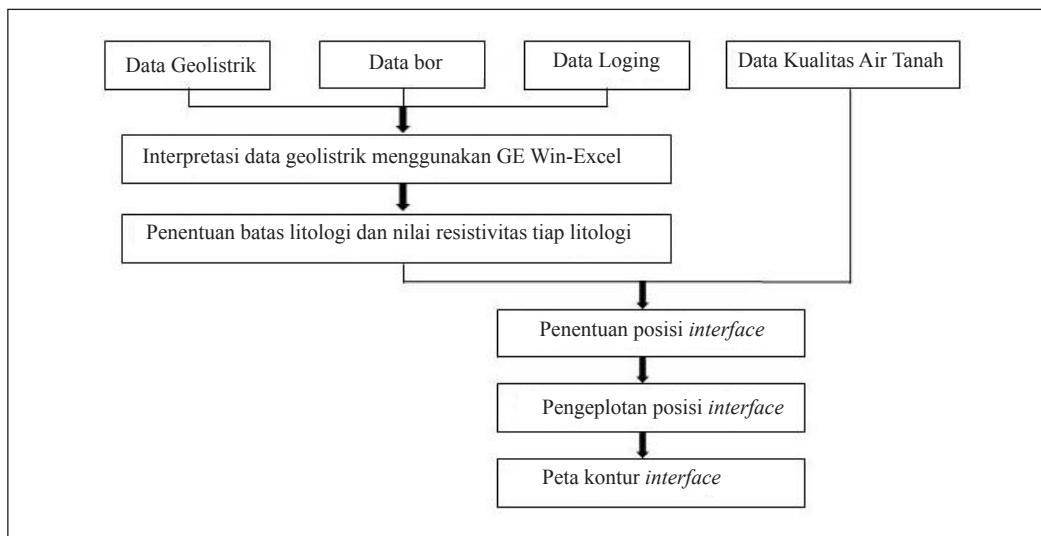
Alur penelitian disajikan dalam Gambar 3. Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data hasil pengukuran geolistrik dengan metode Schlumberger, data bor, data logging dan data kualitas air tanah. Semua data tersebut diperoleh dari situs dinoloket.nl (2011). Situs tersebut menyajikan data-data



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian (ditandai dengan persegi warna merah).



Gambar 2. Peta kontur *interface* antara air tanah tawar dan payau di daerah studi pada tahun 1976, pada kadar klorida 150 mg/L, berdasarkan studi TNO (1978).



Gambar 3. Alur penelitian.

hasil pengukuran dan monitoring kondisi air tanah di Belanda dan dikelola oleh Deltares-TNO (semacam Badan Geologi Belanda). Data geolistrik diolah dengan menggunakan sebuah *free software*, GEWin-Excel. Nilai resistivitas dan kedalaman tiap lapisan batuan diperkirakan dengan mengacu pada data bor dan hasil logging.

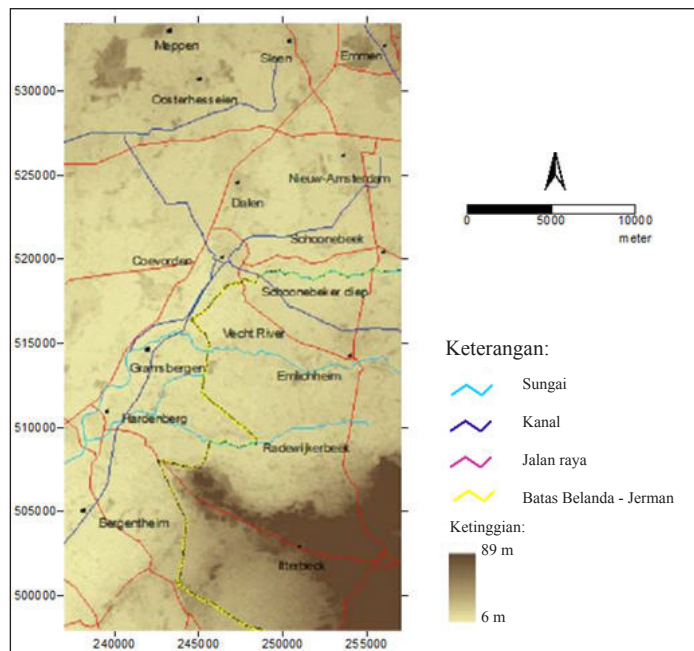
Selanjutnya dibuat korelasi antara kadar klorida dan konduktivitas air tanah. Hasilnya digunakan untuk mengetahui resistivitas batuan yang mengandung air payau. Batas antara air tanah tawar dan payau di Belanda yaitu pada kadar klorida 150 mg/L. Angka ini juga digunakan sebagai salah satu standar air minum di negeri tersebut. Sehingga posisi *interface* di tiap titik pengukuran geolistrik yang diinterpretasi dapat diketahui.

Dari hasil interpretasi tersebut, dilakukan pengeplotan posisi *interface* dengan meng-

gunakan *software* Surfer. Dengan software ini pula, dibuat peta kontur *interface* di daerah penelitian.

HIDROGEOLOGI DAERAH STUDI

Di daerah penelitian, daerah imbuhan air tanah terdapat di bukit-bukit kecil di utara daerah studi (Emmen) dan di daerah pegunungan di selatan (Itterbeck). Daerah lepasan merupakan lembah yang terletak di bagian tengah area studi. Di daerah ini terdapat beberapa sungai, yaitu Radewijker Beek, Vecht, dan Schoonebeker Diep. Radewijker Beek merupakan anak sungai Vecht. Sungai ini mengalir dari arah timur ke barat daya area penelitian. Sementara aliran air Schoonebeker Diep bergabung dengan kanal yang mengalir dari utara dan timur laut menuju ke barat daya (Gambar 4).



Gambar 4. Elevasi daerah studi berdasarkan hasil analisis Digital Elevation Model (DEM).

Akuifer di daerah studi hanya terdiri dari satu akuifer bebas yang tersusun oleh perselingan pasir halus, pasir sedang dan pasir kasar. Di antara perselingan tersebut terdapat lempung yang ditemukan setempat-setempat dan berfungsi sebagai akuitard. Batuan-batuan di atas terendapkan pada lingkungan darat dan sungai. Adapun *hydrogeological base* di area ini adalah lapisan lempung Formasi Breda. Formasi Breda terendapkan di lingkungan laut, dan mengandung air asin yang menjadi sumber air payau di daerah ini (Zhang, 1998).

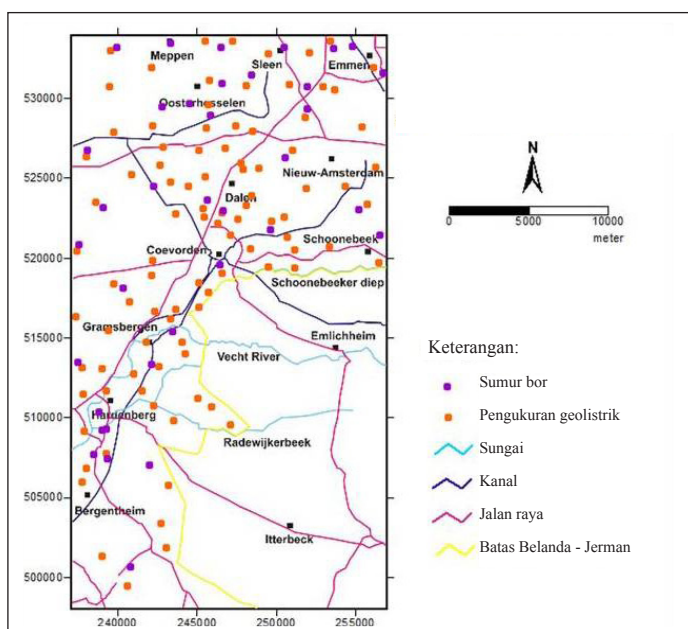
PENGOLAHAN DATA

Data geolistrik dari 96 titik pengukuran diinterpretasi dalam studi ini. Pemilihan data tersebut dilakukan dengan mempertimbangkan distribusi spasial di seluruh area penelitian (Gambar 5). Selain itu, diusahakan data tersebut diambil dari lokasi yang berdekatan

an dengan sumur bor. Sumur bor dengan kedalaman 100 m lebih diutamakan, namun karena hanya terdapat 12 sumur dengan kedalaman tersebut, maka sumur dengan kedalaman kurang dari 100 m juga digunakan. Total sejumlah 36 sumur bor telah digunakan dalam studi ini.

Sebelum digunakan untuk interpretasi, data litologi dari sumur bor dikelompokkan (*log grouping*) untuk menyederhanakan litologi yang terdapat pada lokasi tersebut (Tabel 1). Penyederhanaan ini diperlukan untuk mempermudah proses interpretasi dengan menggunakan GEWin-Excel.

Dalam *log grouping*, batuan yang tipis digabungkan dengan batuan yang lebih tebal. Pengelompokan tersebut terbatas pada litologi yang tercantum dalam GEWin-Excel. Litologi tersebut ada 17 jenis, meliputi:



Gambar 5. Lokasi sumur bor dan pengukuran geolistrik yang diinterpretasi di daerah studi.

Tabel 1. Contoh Pengelompokan Batuan pada Sumur Bor B17G0007

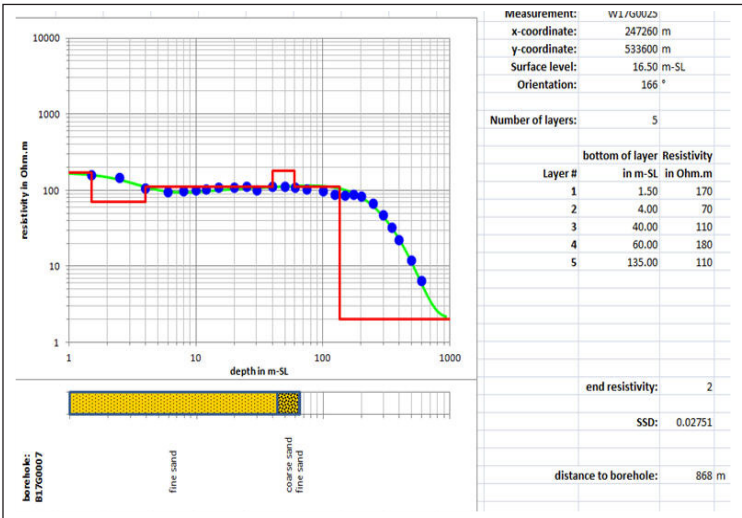
<i>Top Depth (cm)</i>	<i>Base Depth (cm)</i>	<i>Lithology</i>	<i>Sand Median Class</i>	<i>Log Grouping</i>
0	65	<i>Sand</i>		<i>Fine sand</i>
65	165	<i>Sand</i>	<i>Fine</i>	
165	480	<i>Sand</i>	<i>Very fine</i>	
480	900	<i>Sand</i>	<i>Fine</i>	
900	1100	<i>Sand</i>	<i>Fine</i>	
1100	1570	<i>Sand</i>	<i>Fine</i>	
1570	2050	<i>Sand</i>	<i>Fine</i>	
2050	2250	<i>Sand</i>	<i>Very fine</i>	
2250	2750	<i>Sand</i>	<i>Fine</i>	
2750	3200	<i>Sand</i>	<i>Fine</i>	
3200	3650	<i>Sand</i>	<i>Moderately fine</i>	
3650	4125	<i>Sand</i>	<i>Moderately fine</i>	
4125	4300	<i>Sand</i>	<i>Moderately coarse</i>	<i>Coarse sand</i>
4300	4550	<i>Sand</i>	<i>Moderately coarse</i>	
4550	4900	<i>Sand</i>	<i>Moderately coarse</i>	
4900	5250	<i>Sand</i>	<i>Moderately coarse</i>	
5250	5550	<i>Sand</i>	<i>Coarse</i>	
5550	5850	<i>Sand</i>	<i>Coarse</i>	
5850	6125	<i>Sand</i>	<i>Moderately coarse</i>	
6125	6200	<i>Sand</i>	<i>Moderately fine</i>	<i>Fine sand</i>

- *Peat*
- *Loam*
- *Clay*
- *Sandy clay*
- *Fine sand + Clay*
- *Silty/ clayey sand*
- *Very fine sand*
- *Fine sand*
- *Coarse sand*
- *Gravel*
- *Limestone*
- *Sandstone*
- *Shale*
- *Volcanic rock*
- *Intrusive rock*
- *Metamorphic rock*
- *Other*

Hasil pengukuran geolistrik di-load ke dalam GEWin-Excel dan ditentukan batas litologi beserta nilai resistivitasnya. Penentuan letak batas litologi menggunakan acuan batas li-

tologi yang didapat dari data sumur bor yang telah dilakukan *log grouping*. Angka resistivitas terakhir (*end resistivity*) ditentukan sebesar 2 Ωm yang merupakan nilai resistivitas lempung Formasi Breda yang mengandung air asin (Gambar 6).

Beberapa titik pengukuran geolistrik terletak di dekat sumur yang memiliki data *log resistivity*. Terdapat 10 sumur bor yang memiliki data ini. Adanya data log ini juga bisa digunakan sebagai acuan nilai resistivitas tiap lapisan batuan saat interpretasi geolistrik. Kisaran resistivitas batuan pada area studi tercantum dalam Tabel 2.



Gambar 6. Analisis geolistrik di titik pengukuran W17G0025.

Selanjutnya dari data kualitas air tanah, dibuat korelasi antara kadar klorida dan konduktivitas elektrik (*Electrical Conductivity*, EC) di daerah studi. Data dari sumur bor pada kedalaman dan waktu pengambilan sampel yang berbeda tidak dipermasalahkan dalam studi ini. Mengingat di area ini hanya terdapat satu lapisan akuifer, yaitu akuifer bebas, maka seluruh data EC dan kadar klorida yang digunakan juga hanya mewakili satu akuifer. Hasil korelasi ini akan dihitung menggunakan GEWin-Excel untuk mengetahui nilai resis-

tivitas tiap jenis batuan jika mengandung air payau. GEWin-Excel menggunakan asumsi bahwa suhu air dalam batuan adalah 20° C, sementara pada kenyataannya suhu air tidak selalu sebesar 20° C. Untuk itu, perlu dilakukan koreksi nilai EC terlebih dahulu sebelum membuat korelasi.

Koreksi nilai EC dilakukan dengan menggunakan formula yang diajukan oleh Hayashi (2004). Pada studi ini, Eq.1, faktor “25” diubah menjadi “20”, sesuai dengan suhu standar GEWin-Excel (Tabel 3).

Tabel 2. Tabel Kalibrasi Resistivitas Batuan di Daerah Penelitian

Litologi	Resistivitas hasil interpretasi menggunakan GEWin-Excel (Ωm)	Kisaran umum resistivitas di daerah penelitian (Ωm)
Lempung (selain dari F. Breda)	3 – 50	10 – 40
Pasir halus	14 – 297	60 – 130
Pasir kasar	7 – 436	130 – 200

Tabel 3. Konversi Nilai Konduktivitas Elektrik (EC) Menjadi EC_{20}

No.	Nomor sumur	Cl ⁻ (mg/l)	EC terukur (μ S/cm)	Suhu ($^{\circ}$ C)	a	c	EC_{20} (μ S/cm)
1.	B17D0008	18.0	324,70	18	0,0187	0,02	311
2.	B17D0008	18.0	295,30	18	0,0187	0,02	283
3.	B17D0013	18,2	235,60	18	0,0187	0,02	226
4.	B17D0093	19.0	196,00	20	0,0187	0,02	196
5.	B17D0094	41.0	279,00	20	0,0187	0,02	279
6.	B17G0003	22,6	140,30	18	0,0187	0,02	135
7.	B17G0007	16.0	294,30	18	0,0187	0,02	282
8.	B17G0013	27,9	305,80	18	0,0187	0,02	293
9.	B17G0016	20,6	230,40	18	0,0187	0,02	221
10.	B17G0018	30,5	280,70	18	0,0187	0,02	269
11.	B17H0014	32.0	380,00	20	0,0187	0,02	380
12.	B17H0017	21,1	303,70	18	0,0187	0,02	291
13.	B17H0017	21.0	312,10	18	0,0187	0,02	299
14.	B17H0017	21,3	303,70	18	0,0187	0,02	291
15.	B17H0017	22,1	249,30	18	0,0187	0,02	239
16.	B17H0020	15,7	340,40	18	0,0187	0,02	326
17.	B17H0020	18.0	319,40	18	0,0187	0,02	306
18.	B17H0021	27.0	358,00	20	0,0187	0,02	358
19.	B17H0021	25.0	375,00	20	0,0187	0,02	375
20.	B17H0021	23.0	353,00	20	0,0187	0,02	353
21.	B17H0027	23.0	364,00	20	0,0187	0,02	364
22.	B17H0029	42.0	430,40	18	0,0187	0,02	413
23.	B17H0029	24.0	276,50	18	0,0187	0,02	265
24.	B17H0091	42.0	427,00	20	0,0187	0,02	427
25.	B17H0091	21.0	265,00	20	0,0187	0,02	265
26.	B17H0091	41.0	395,00	20	0,0187	0,02	395
27.	B17H0091	43.0	439,00	20	0,0187	0,02	439
28.	B17H0091	31.0	341,00	20	0,0187	0,02	341
29.	B17H0091	37.0	434,00	20	0,0187	0,02	434
30.	B17H0091	32,9	438,00	20	0,0187	0,02	438
31.	B17H0091	25.0	347,00	20	0,0187	0,02	347
32.	B17H0094	25.0	254,50	18	0,0187	0,02	244
33.	B17H0126	30.0	244,00	18	0,0187	0,02	234
34.	B17H0127	23.0	183,30	18	0,0187	0,02	176
35.	B17H0129	16.0	115,20	18	0,0187	0,02	110
36.	B17H0130	18.0	221,00	18	0,0187	0,02	212
37.	B17H0191	39.0	409,00	20	0,0187	0,02	409
38.	B17H0335	21.0	274,00	20	0,0187	0,02	274
39.	B22B0033	31.0	314,20	18	0,0187	0,02	301
40.	B22D0094	15.0	280,00	[18]	0,0187	0,02	268
41.	B22D0095	15.0	305,00	[18]	0,0187	0,02	292
42.	B22F0004	18.0	397,00	20	0,0187	0,02	397
43.	B22F0055	17.0	374,00	20	0,0187	0,02	374
44.	B22F0055	35.0	357,00	20	0,0187	0,02	357
45.	B28E0033	29.0	231,50	18	0,0187	0,02	222

Catatan: []: tidak diukur; merupakan suhu perkiraan.

$$c = a / [1 + (t - 25)] \quad (\text{persamaan 1})$$

$$EC_{t_0} = EC_t / [1 - c (t - t_0)] \quad (\text{persamaan 2})$$

dimana:

c: konstanta

a: faktor kompensasi suhu (biasanya sebesar 0,0187° C⁻¹)

t: suhu hasil pengukuran (° C)

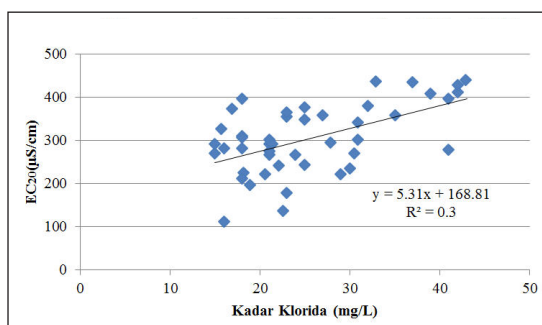
t₀: suhu *default* GEWin-Excel (20° C)

EC_t: konduktivitas elektrik di lapangan (μS/cm)

EC_{t₀}: konduktivitas elektrik pada suhu standar GEWin-Excel (μS/cm, pada t = 20° C)

Setelah nilai EC dikoreksi, dilakukan korelasi. Korelasi antara keduanya tertuang dalam rumus $y = 5,31x + 168,81$ dengan nilai $R^2 = 0,3$ (Gambar 7). Kemudian nilai klorida 150 mg/L dimasukkan ke dalam rumus tersebut, dan didapat nilai EC 965 μS/cm.

Nilai EC 965 μS/cm dimasukkan ke dalam GEWin-Excel untuk mengetahui nilai resistivitas tiap litologi yang mengandung air tanah dengan kadar klorida 150 mg/L atau lebih (Gambar 8). Dari Gambar 8 tersebut, misalnya jika lempung memiliki resistivitas $\leq 21 \Omega m$ maka lapisan tersebut mengandung air payau.



Gambar 7. Grafik hubungan kadar klorida dengan konduktivitas elektrik di area studi.

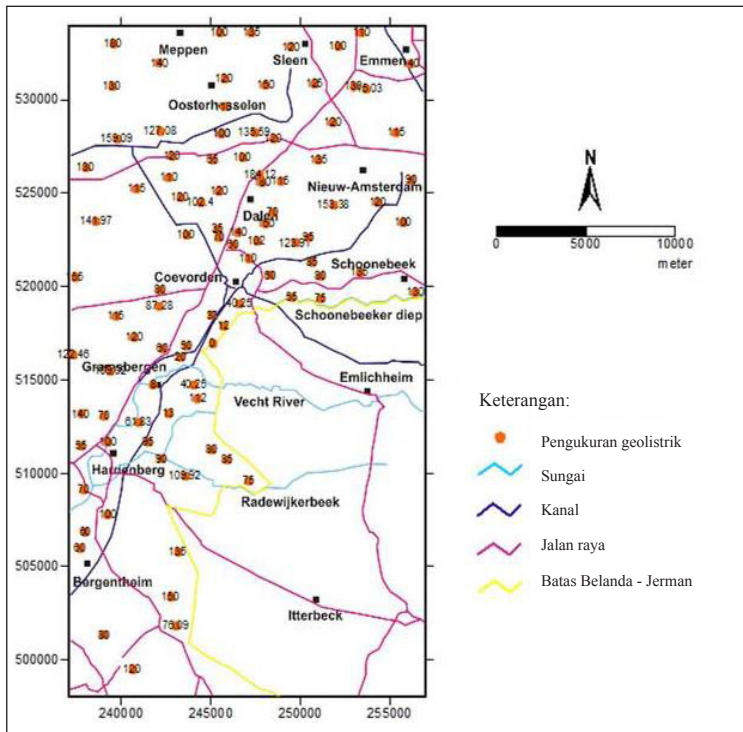
Gambar 8. Perhitungan nilai konduktivitas elektrik untuk mendapatkan harga resistivitas batuan yang mengandung air payau dengan menggunakan GEWin-Excel.

Begitu juga dengan batuan lainnya. Jika nilai resistivitas lapisan pasir kasar kurang dari 41 Ωm, batas atas dari lapisan ini merupakan letak *interface*. Batas atas lapisan pasir halus bisa juga ditentukan menjadi *interface* jika resistivitasnya kurang dari 26 Ωm.

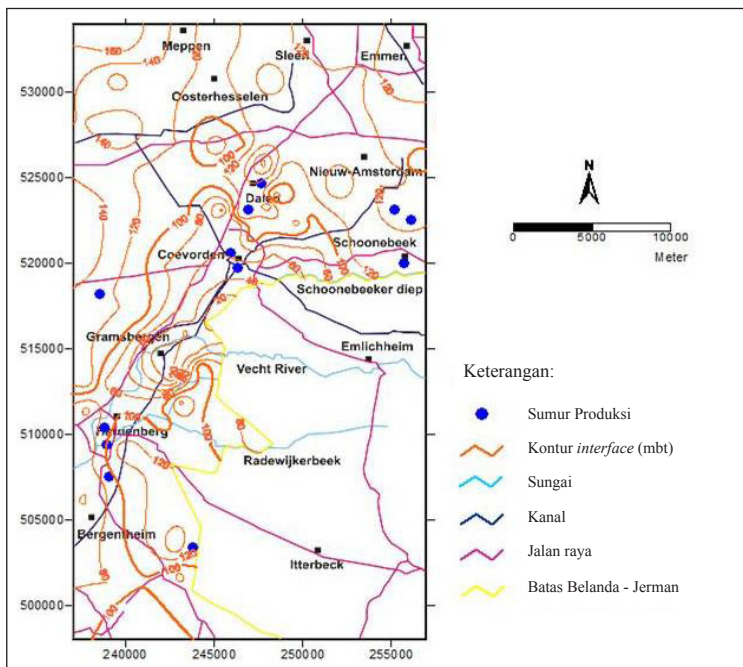
DISKUSI DAN PEMBAHASAN

Setelah didapat posisi *interface* dari semua titik geolistrik yang diinterpretasi, data tersebut diplot ke dalam *software* SURFER (Gambar 9). Selanjutnya dibuat kontur posisi *interface* (Gambar 10).

Di selatan Coevorden, yaitu Schoonebeker Diep dan Sungai Vecht, *interface* sudah mencapai permukaan tanah. Di sisi barat daya titik tersebut terdapat *interface* yang dangkal, yaitu 8 m di bawah permukaan. Ke arah utara, batas antara air tanah tawar dan payau menjadi semakin dalam sampai kedalaman 160 m. Sementara ke arah barat dan selatan, mencapai kedalaman 100 m dibawah permukaan.



Gambar 9. Letak kedalaman *interface* dari permukaan tanah di daerah studi, pada kadar klorida 150 mg/L.



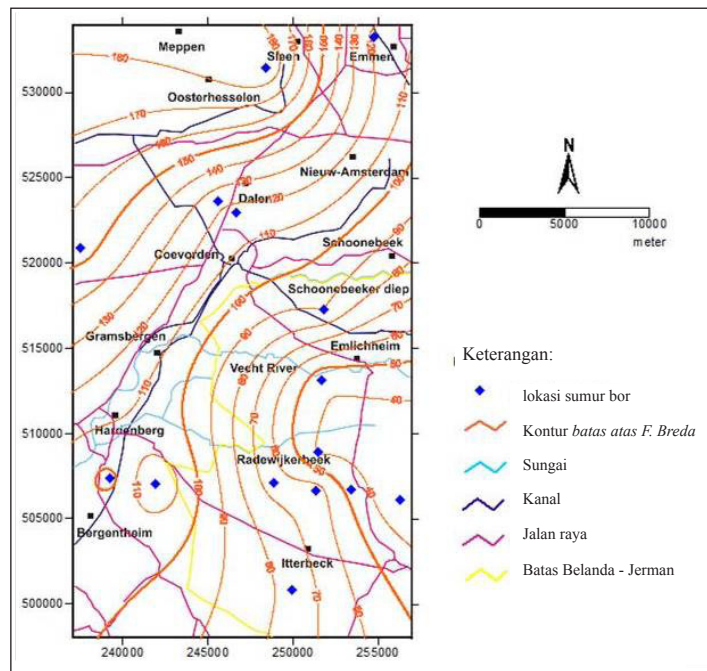
Gambar 10. Peta kontur *interface* antara air tanah tawar dan payau di daerah studi, pada kadar klorida 150 mg/L.

Secara umum, pola posisi *interface* sama dengan hasil penelitian terdahulu yang dilakukan oleh TNO (1978). Letak *interface* pada kedua hasil studi sedikit berbeda, dimungkinkan karena perbedaan cara interpretasi data geolistrik. Pada studi TNO, interpretasi dilakukan dengan cara *curve matching* secara manual, sementara pada studi ini dilakukan dengan menggunakan *software*. Pada studi ini, *interface* terdangkal sudah mencapai permukaan. Kontur *interface* di area Jerman tidak digambarkan karena tidak tersedianya data geolistrik di wilayah tersebut, sehingga tidak dapat dilakukan interpretasi.

Dari peta *interface* juga terlihat bahwa dangkalnya posisi *interface* tidak terkait dengan keberadaan sumur produksi air bersih di area studi. Sehingga sumur produksi tersebut relatif aman dari ancaman *upconing* air payau,

kecuali bagi sumur produksi yang ada di Coevorden. Kedua sumur tersebut digunakan untuk keperluan industri. Data sumur produksi yang diperoleh dalam studi ini tidak memuat data posisi saringan, oleh karena itu tidak diketahui apakah air tanah yang terabstraksi kedua sumur tersebut sudah mulai payau atau belum.

Sumber air payau berasal dari Formasi Breda. Zhang (1998) melakukan studi di area Holtien yaitu daerah di sekitar Hoogeveen (Gambar 1). Dia menyatakan bahwa Formasi Breda terdiri dari dua bagian, yaitu bagian bawah yang bersifat pasir (*sandy Breda Formation*) dan bagian atas yang bersifat lempungan (*clayey Breda Formation*). Selama regresi air laut sesudah terdeposisinya *sandy Breda*, air asin tergantikan oleh air tawar. Kemudian klorida berdifusi ke lapisan *clayey Breda*.



Gambar 11. Peta kontur batas atas Formasi Breda di daerah studi.

Karena rendahnya konduktivitas hidraulik di batuan lempungan, maka kadar klorida yang tinggi pada lapisan ini tidak sepenuhnya tergantikan oleh air tawar. Hal ini terbukti dengan kadar klorida pada Formasi Breda. Bagian *sandy Breda*, mengandung klorida sebesar 21,3 dan 71,7 mg/L (air tawar). Sementara klorida pada sampel air yang diambil di dekat *clayey Breda* sebesar 604 (air payau) dan 1.637 mg/l Cl⁻ (air payau-asin). Klorida tersebut berdifusi ke lapisan batuan yang mengandung klorida dengan kadar lebih rendah. Selain itu kondisi *clayey Breda* yang tidak menerus memudahkan difusi klorida dari *sandy Breda* ke lapisan akuifer di atasnya. Lapisan akuifer di atasnya inilah yang diabstraksi oleh sumur-sumur produksi di daerah studi.

Dangkalnya posisi *interface* di selatan Coevorden mungkin juga dikarenakan dangkalnya posisi batas atas Formasi Breda di tenggara daerah studi. Berdasarkan data litologi dari 15 sumur bor, dibuat peta kontur batas atas Formasi Breda (Gambar 11). Kedalaman sumur-sumur tersebut mencapai bagian atas Formasi Breda. Data sumur bor di area Belanda berasal dari dinoloket.nl, sementara data sumur bor di area Jerman diperoleh dari situs yang dikelola oleh LBEG (*State Authority for Mining, Energy and Geology of Lower Saxony State, Germany*) (LBEG, 2009).

Secara umum, peta kontur batas atas Formasi Breda ini sesuai dengan Digital Geological Model (TNO, 2005) yang menyatakan bahwa batas atas Formasi Breda menjadi semakin dalam ke arah utara dan barat area studi. Di beberapa area terdapat kekurangcocokan antara kedalaman *interface* dengan batas atas

Formasi Breda. Hal ini dimungkinkan karena terbatasnya data sumur bor yang mencapai Formasi Breda, sehingga variasi kedalaman batas atas formasi tidak tergambar secara detail.

Adanya pengaruh dangkalnya batas atas Formasi Breda juga dibuktikan dengan terdapatnya air tanah dengan kadar klorida >250 mg/L di daerah Emlichheim (LBEG, 1987). Dengan demikian, kemungkinan di area Jerman juga akan ditemui *interface* antara air tanah tawar dan payau pada posisi dangkal.

KESIMPULAN

Data geolistrik dapat digunakan untuk menentukan posisi *interface* antara air tanah payau dan tawar dengan mengkorelasikan nilai resistivitas batuan dengan kadar klorida yang dikandungnya. Di daerah penelitian, *interface* paling dangkal terdapat di area antara Sungai Vecht dan Schoonebeker Diep. Di titik ini, air payau sudah mencapai ke permukaan tanah. Ke segala arah, *interface* ini menjadi semakin dalam. Sumur produksi yang ada di daerah penelitian masih relatif aman dari kemungkinan terjadinya *upconing* air payau. Sumber air payau berasal dari Formasi Breda yang mengandung air asin dan berdifusi ke lapisan batuan di atasnya.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jan Nonner dan Nico van der Moot, atas bimbingan yang telah diberikan selama penelitian, serta kepada *reviewer* yang telah memberikan saran-saran dalam penyelesaian tulisan ini.

ACUAN

Hayashi, M., 2004, Temperature - Electrical Conductivity Relation of Water for Environmental Monitoring and Geophysical Data Inversion: Journal of Environmental Monitoring and Assessment v.96, h 119-128.

LBEG, 1987, <http://nibis.lbeg.de/cardomap3/?TH=611|596|597>, [Oktober 2011].

LBEG, 2009, <http://nibis.lbeg.de/cardomap3/?TH=611|596|597>, [Oktober 2011].

TNO, 2005, <http://www.dinoloket.nl/>, [Oktober 2011].

TNO, 1978, Grondwater kaart van nederland overijsselse Vecht 21 oost, 22 west, 22 oost, 23 west, Delft.

van der Moot, N.L, 2009, GEWin-Excel Version T22: A tool to interpret geo-electrical measurements, 42 h.

Zhang, D., 1998, Modelling of brackish groundwater in the Holtien Area, Drenthe, The Netherlands, Master Thesis, UNESCO-IHE, Delft.