

Gejala Intrusi Air Laut di Daerah Pantai Kota Pekalongan

Sugeng Widada

Laboratorium Geologi Laut Jurusan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro Semarang

Abstrak

Sebagian wilayah pantai Kota Pekalongan dijumpai adanya air tanah payau yang pelamparannya semakin luas. Tujuan penelitian ini adalah untuk memetakan sebaran air tanah payau tersebut, baik pada akuifer dangkal maupun akuifer dalam dan juga untuk mengetahui penyebab keasinan air tanah tersebut. Sebaran air tanah asin dipetakan berdasarkan nilai daya hantar listrik (DHL) dengan kriteria tingkat keasinan sebagaimana ditetapkan oleh Panitia Ad Hoc Intrusi Air Asin Jakarta. Sedangkan penyebab keasinan air tanah dianalisa berdasarkan fasies hidrokimia dengan diagram Trilinier Piper. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada akuifer dangkal air tanah agak payau dengan DHL 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ - 2.200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dijumpai di sebelah utara, meliputi Desa Bandengan, Kandang Panjang, Panjang Wetan, Krapyak Lor, dan sebagian Degayu. Sedangkan untuk airtanah dalam seluruhnya dalam kondisi tawar dengan nilai DHL < 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, kecuali sumur di Pantai Sari tergolong agak payau dengan DHL 1.602 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Keasinan air tanah pada akuifer dangkal disebabkan oleh proses intrusi air laut, kecuali air tanah di Kauman merupakan air fosil (connate water). Untuk akifer dalam juga tampak mulai muncul tanda-tanda intrusi air laut terutama pada wilayah bagian barat dan tengah, sedangkan di wilayah timur belum tampak adanya gejala intrusi air laut

Kata kunci : Daya hantar listrik, Intrusi air laut, akuifer

Abstract

In the part of Pekalongan coastal region was found brackish groundwater which spreading progressively. The aim of this research was to map the brackish groundwater, either at the shallow or deep aquifer and also to know cause of the ground water saltness. Briny groundwater spread was mapped based on the value of electric conductivity (EC) with saltiness criterion as specified by Panitia Ad Hoc Intrusi Air Asin Jakarta. Cause of saltiness of ground water was analysed base on the hydrochemical facies by Trilinier Piper diagram. The result of the work showed that the rather brackish groundwater at shallow aquifer which indicated by EC value 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ - 2.200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ found in the northside, covering Bandengan, Kandang Panjang, Panjang Wetan, Krapyak Lor, and some of Degayu. While all of the groundwater at deep aquifer was as fresh water with EC value < 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, except water at deep well in Pantai Sari categorized as rather brackish with EC 1.602 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Saltiness of groundwater at shallow aquifer was cause by sea water intrusion process, except groundwater at Kauman village represent as connate water. Groundwater at deep aquifer was seen early sea water intrusion, especially at west and middle part of research area, while at east of area not yet seen existence of sea water intrusion.

Key words : Electric conductivity, sea water intrusion, aquifer.

Pendahuluan

Kota Pekalongan yang merupakan salah satu kota di pantai utara Jawa Tengah terus berkembang pesat sebagai kota perdagangan, industri tekstil, dan perikanan tangkap. Sejalan pertumbuhan ekonomi kota ini, maka pertumbuhan penduduk juga terus meningkat dari 261.745 jiwa pada tahun 2003 menjadi 266.972 pada tahun 2004 (Bappeda Kota Pekalongan, 2005). Semakin besarnya jumlah penduduk dan pertumbuhan ekonomi kota ini menjadikan kebutuhan akan air bersih terus meningkat, baik air untuk kebutuhan sehari-hari

maupun untuk kebutuhan industri. Untuk memenuhi kebutuhan air bersih tersebut, masyarakat lebih banyak mengandalkan air tanah, baik yang diambil dari akuifer dangkal maupun akuifer dalam. Eksploitasi air tanah yang terus berlangsung dan semakin meningkat dari waktu ke waktu diduga telah mengakibatkan terjadinya intrusi air laut pada akuifer di daerah pantai Kota Pekalongan. Hal ini ditunjukkan dengan semakin bertambahnya sumur penduduk yang berubah menjadi payau. Dalam banyak hal, intrusi air laut menimbulkan dampak yang sangat luas terhadap berbagai aspek kehidupan, seperti gangguan

kesehatan, penurunan kesuburan tanah, kerusakan bangunan dan lain sebagainya (Saputra, 1998). Namun demikian, mengingat kondisi litologi pantai Kota Pekalongan yang berupa endapan aluvial muda dengan banyaknya lensa-lensa pasir (Juri, 1992), maka keasinan air tanah tidak selalu merupakan akibat dari intrusi air laut. Pada beberapa kejadian air tanah asin tersebut merupakan air laut yang terjebak pada sedimen saat proses sedimentasi (*connate water*). Pemetaan lokasi akuifer yang mengandung air payau maupun asin perlu dilakukan untuk mendapatkan gambaran sebaran air tanah asin, penyebab keasinan air tanah tersebut, sehingga dapat ditemukan cara pencegahan meluasnya zona intrusi air laut yang terjadi.

Pemetaan zonasi air tanah asin yang didasarkan pada nilai kelistrikan dan analisa hidrokiama telah banyak dilakukan, diantaranya dilakukan oleh Edi Prasetyo (1982) melalui pengukuran tahanan jenis, sedangkan Sihwanto (1991) dengan metode analisa fasies hidrokiama., Penelitian serupa juga telah dilakukan di daerah pantai Kota Semarang dengan pendekatan nilai daya hantar listrik air tanah secara langsung (Widada, dkk. 2000 dan Nurwidiyanto, dkk., 2004) dan melalui pendekatan geofisika resistivity (Rochaddi, dkk, 2001). Sedangkan di Pantai Jepara kajian intrusi air laut telah dilakukan dengan pengukuran polarisasi terimbas (Widada, et al.,1994).

Penelitian ini untuk mendapatkan peta zonasi air tanah asin yang didasarkan pada klasifikasi air tanah asin yang disusun oleh Panitia Adhoc Intrusi Air Asin Jakarta (1986). Sedangkan analisa penyebab keasinan air tanah dilakukan melalui pendekatan analisa fasies hidrokiama yang tervisualisasikan pada diagram Trilinier Piper dan penentuan tingkat intrusi dengan metode Ratio Khlorida-Bicarbonat.

Materi dan Metode

Penelitian dilakukan dengan mengambil sampel air tanah dangkal pada akuifer bebas dan air tanah dalam pada akuifer tertekan yang selanjutnya dilakukan pengukuran DHL terhadap air sampel tersebut. Koordinat lokasi pengambilan sample ditentukan dengan Global Positioning System (GPS). Nilai DHL pada masing-masing titik sampel diplotkan dalam peta dasar untuk selanjutnya disusun peta zonasi sebaran air tanah asin. Dalam hal ini digunakan klasifikasi yang disusun oleh Panitia Ad Hoc Intrusi Air Asin Jakarta (1986) sebagaimana tercantum pada Tabel 1. Untuk mengetahui arah aliratan air tanah, maka dilakukan pengukuran elevasi muka air tanah. Kedalaman muka air tanah dangkal dilakukan pengukuran menggunakan

water level reading pada sumur gali milik penduduk, sedangkan untuk muka air tanah dalam dilakukan pada sumur bor yang ada. Data elevasi muka air tanah didapatkan dari data elevasi permukaan tanah dikurangi selisih antara kedalaman permukaan air tanah dengan tinggi bibir sumur / casing dari permukaan tanah.

Berdasarkan data elevasi muka air tanah, disusun arah aliran air tanah yaitu tegak lurus terhadap kontur elevasi muka air tanah. Sampel air tanah yang dianalisa hidrokiama diambil dari lokasi yang sejaliran dari darat ke arah laut. Selanjutnya sampel dianalisa di laboratorium untuk mengetahui kandungan ion-ion baik kation maupun anion penyusun air tanah tersebut sehingga dapat divisualisasikan dalam Diagram Trilinier Piper untuk mengetahui genesa air tanah tersebut (Mandel and Shiftan, 1981). Adapun kandungan kation yang diukur meliputi Magnesium (Mg), Natrium (Na), Kalium (K), dan Calsium (Ca). Sedangkan untuk anion meliputi Sulfat (SO₄), Carbonat (CO₃), Bicarbonat (HCO₃), Khlorida (Cl), dan Nitrat (NO₃). Selain itu, indikasi adanya penyusupan air laut ditentukan juga berdasarkan nilai perbandingan kadar ion Khlorida (Cl) terhadap jumlah ion karbonat (HCO₃⁻ + CO₃⁼) sebagaimana telah dilakukan oleh Todd (1980).

Dalam metode Diagram Trilinier Piper, prosentase kandungan anion dan kation dari berbagai stasiun digambarkan dalam satu diagram (Gambar 1). Pembagian fasies untuk kation meliputi tipe Magnesium (Mg), tipe Sodium (Na + K), dan tipe Calsium (Ca). Sedangkan fasies untuk anion meliputi tipe Sulfat (SO₄), tipe Bicarbonat (CO₃ + HCO₃), dan tipe Khlorida (Cl). Melalui diagram tersebut maka dapat digambarkan adanya percampuran dua jenis air yang berbeda sumbernya. Percampuran dua macam air yang berbeda sumbernya akan tergambar pada garis lurus yang menghubungkan dua titik yaitu titik air tawar dan titik air laut, sehingga dapat digunakan untuk mendeteksi adanya intrusi air laut. Pada Metode Ratio Khlorida - Bicarbonat perbandingan ion digunakan sebagai dasar untuk mengetahui adanya penyusupan air laut. Perbandingan ion yang digunakan adalah perbandingan ion Khlorida terhadap ion Karbonat (Sihwanto, 1991). Hubungan antara tingkat penyusupan air laut dengan harga R (ratio khlorida - karbonat) dirumuskan sebagai berikut :

$$R = \frac{Cl^-}{CO_3^{=} + HCO_3^-}$$

Dimana Cl⁻ : konsentrasi ion khlorida (meq/liter)

CO₃ : konsentrasi ion karbonat (meq/liter)

HCO₃ : konsentrasi ion bicarbonate (meq/liter)

Dalam metode ini dinyatakan bahwa nilai perbandingan ion khlorida terhadap karbonat (nilai R) menunjukkan tingkat intrusi yang telah terjadi (Sihwanto, 1991) sebagaimana tercantum pada Tabel 2.

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan survei lapangan yang telah dilakukan pada 94 titik sampel yang tersebar pada 29 desa / kelurahan yang terdapat di Kota Pekalongan yang meliputi desa / kelurahan Pasir Sari, Pabean, Pekalongan Utara, Kandang Panjang, Tirto, Klego, Noyontaan, Kauman, Kramatsari, Pringlangu, Tegalorejo, Bumirejo, Podosugih, Bendan, Kraton, Krapyak Kidul, Krapyak Lor, Kergon, Medono, Baros, Damer, Degayu, Sugih Waras, Slamaran, Poncol, Sepuro, Kaputran, Dekoro, dan Karang Malang, diperoleh sebaran air tanah asin pada akuifer bebas di Pesisir Kota Pekalongan adalah seperti pada Gambar 2. Sedangkan sebaran air tanah asin pada sumur dalam (akuifer tertekan) yang diperoleh dari 54 titik sampel pada 4 kecamatan yang terdapat di pesisir Kota Pekalongan adalah seperti pada Gambar 3.

Berdasarkan hasil analisis aliran air tanah, dapat ditetapkan sampel air tanah untuk analisa hidrokimia sebanyak 9 titik sampel untuk air tanah dangkal dan 8 titik sampel air tanah dalam, yang dibagi sebagai aliran air tanah pada sisi barat, tengah dan timur daerah kajian. Ke 9 titik sampel air tanah dangkal yang dianggap mewakili aliran air tanah dangkal diambil dari sumur di Pantai Sari, Masjid Klego, Bintang Sritex, Kandang Panjang, Sampang, Kauman, Jeruk Sari, Pabean, dan Pasir Sari. Sedangkan 8 titik sampel air tanah dalam yang dianggap mewakili diambil dari sumur bor di Pelabuhan, Pantai Sari, BRI Pekalongan, Bintang Putratex, Kandang Panjang, Kauman, Pabean, dan Pasir Sari.

Berdasarkan peta tersebut terlihat bahwa air tanah agak payau pada akuifer dangkal di Kota Pekalongan yaitu air tanah yang memiliki nilai DHL lebih dari 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ terdapat di Bandengan, Kandang Panjang, Panjang Wetan, Krapyak Lor, dan Krapyak Kidul. Sedangkan untuk Klego, Degayu, Pebean, dan Pasir Sari, air tanah yang bersifat dangkal dapat ditemui di bagian utara daerah tersebut. Pada beberapa tempat sebaran air tanah agak payau (1500–5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) tampak adanya anomali sebaran keasinan dengan ditunjukkan adanya beberapa pola tutupan (closure) kontur DHL salah satunya antara lain di wilayah Kauman dan Pabean.

Daerah sebaran air tanah agak payau menempati akuifer berupa lempung pasir yang merupakan

endapan alluvial dengan permeabilitas umumnya rendah dan topografi permukaan tanah yang landai, sehingga sangat rentan terhadap intrusi air laut. Untuk akuifer dalam, air tanah agak payau yang ditunjukkan dengan nilai DHL antara 1500–5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. hanya dijumpai pada satu sumur yang berada di Pantai Sari – Pekalongan Utara, yaitu dengan nilai DHL 1.602 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Hasil penghitungan metode Khlorida – Bicarbonat Ratio sebagaimana tercantum pada Tabel 3 dan Tabel 4 terlihat bahwa intrusi air laut pada akuifer dangkal telah terjadi di Pantai Sari, Kandang Panjang dan Kauman, sedangkan pada akuifer dalam intrusi telah terjadi di sekitar PT. Bintang Putratex dan Pabean.

Hasil visualisasi dengan diagram Trilinier Piper (Gambar 3), terlihat bahwa air tanah di daerah Pabean (2) menuju Kandang Panjang (3) diindikasikan mengalami proses intrusi. Hal tersebut didasarkan letak titik pada diagram Trilinier Piper yang semakin ke arah zona tengah (zona percampuran) sebagaimana dikemukakan oleh Sihwanto (1991). Data lapangan juga menunjukkan bahwa di Kandang Panjang nilai DHL-nya di atas 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dengan nilai $R = 0,9$ yang berarti telah terjadi proses intrusi. Sedangkan daerah Pasir Sari (1) diindikasikan belum mengalami proses intrusi air laut. Indikasi tersebut diperkuat dengan nilai Khlorida – Bicarbonat Ratio yang memiliki nilai kurang dari 0,5 yang berarti bahwa air tanah di daerah tersebut belum mengalami intrusi air laut. Indikasi tersebut diperkuat dengan visualisasi diagram Trilinier Piper dimana daerah Pasir Sari terletak di zona tengah yaitu zona percampuran air tawar dengan air asin namun ada di wilayah kiri diagram sehingga masih berat ke sifat air tawar. Pada aliran air tanah dangkal bagian tengah menunjukkan bahwa sampel air tanah yang diambil dari sumur Kandang Panjang (6) dan Sampang (5) telah terintrusi air laut. Hal tersebut ditunjukkan bahwa sampel air tanah tersebut terletak pada zona tengah (zona percampuran air tawar dan air asin) dalam diagram Trilinier Piper dan semakin ke utara, pada diagram pun tervisualisasi semakin ke arah kanan yang menyatakan semakin kuat pengaruh air asin sehingga dapat diindikasikan telah terjadi proses intrusi air laut. Hal ini diperkuat dengan adanya nilai R yang mencapai 0,7 pada sampel dari smumur di Kandang Panjang (6). Sedangkan sampel air tanah Kauman (4) diperkirakan merupakan *connate water* (air jebakan). Indikasi adanya *connate water* tersebut dapat dilihat pada peta sebaran air tanah dangkal dimana di daerah Kauman terjadi *closure* (tutupan). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa air tanah asin pada Kandang Panjang dan Sampang karena adanya proses intrusi air laut, sedangkan air tanah asin di daerah

Tabel 1. Klasifikasi keasinan air tanah (PAHIAA-Jakarta, 1986)

Sifat Air	Daya Hantar Listrik ($\mu\text{S/cm/cm}$)	Kadar Khlorida (mg/lt)
Air Tawar	<1.500	<500
Air Agak payau	1.500-5.000	500-2.000
Air Payau	5.000-15.000	2.000-5.000
Air Asin	15.000-50.000	5.000-19.000
Brine (connate)	>50.000	>19.000

Tabel 2. Hubungan Nilai R dengan Tingkat Penyusupan Air Laut

Nilai R	Tingkat Penyusupan Air Laut
<0,5	Air tanah tawar
0,5 - 1,3	Terjadi penyusupan air laut sedikit
1,3 - 2,8	Terjadi penyusupan air laut sedang
2,8 - 6,6	Terjadi penyusupan air laut agak tinggi
6,6 - 15,5	Terjadi penyusupan air laut tinggi
15,5 - 20	Air laut

Tabel 3. Nilai khlorida-bicarbonat ratio air tanah dangkal di Kota Pekalongan

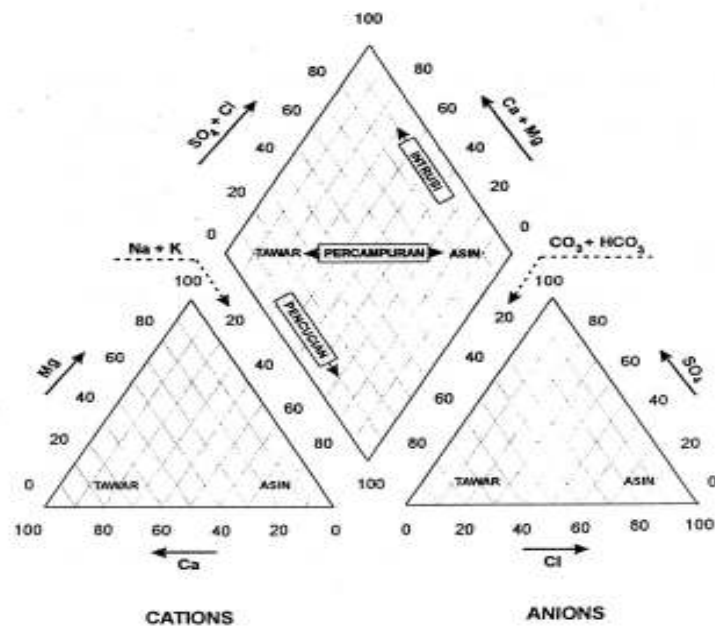
Nama Lokasi	Nilai R	Keterangan
Pantai Sari/Pekalongan Utara	5.49321196	Terjadi penyusupan air laut agak tinggi
Masjid Klego	0.346890834	Tidak terintrusi
Bintang Sritex	0.199805955	Tidak terintrusi
Kandang Panjang	0.724320949	Terjadi penyusupan air laut sedikit
Sampang	0.162702043	Tidak terintrusi
Kauman	3.745340502	Terjadi penyusupan air laut agak tinggi
Pasir Sari	0.345063694	Tidak terintrusi
Pabean	0.223590055	Tidak terintrusi
Kandang Panjang	0,929345234	Terjadi penyusupan air laut sedikit

Tabel 4. Nilai Khlorida-Bicarbonat Ratio Air Tanah Dalam di Kota Pekalongan

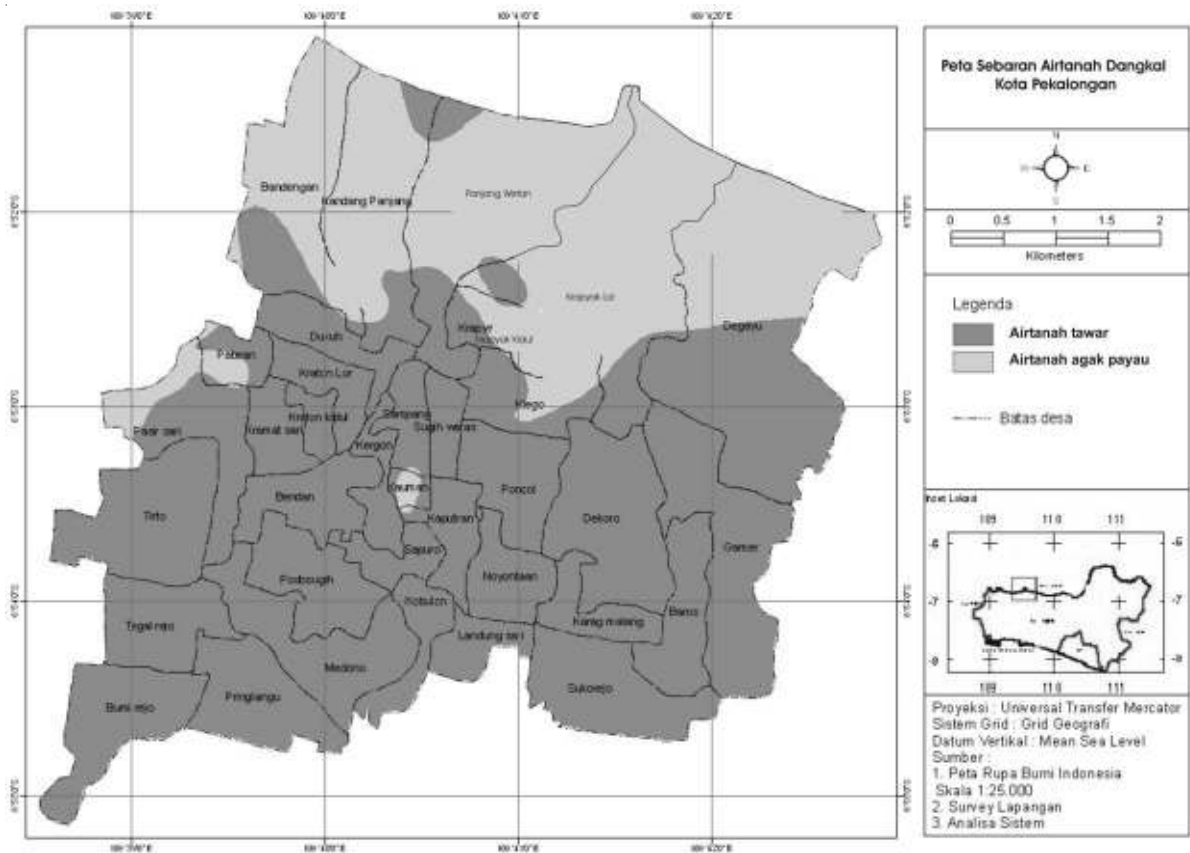
Nomor Lokasi	Nilai R	Keterangan
Pelabuhan	0.211	Tidak terdeteksi
Pantai Sari/Pekalongan Utara	0.337	Tidak terintrusi
ERI Pekalongan	0.198	Tidak terdeteksi
Bintang Putratex	0.959	Terjadi penyusupan air laut sedikit
Kandang Panjang	0.243	Tidak terintrusi
Kauman	0.219	Tidak terintrusi
Pabean	0.915	Terjadi penyusupan air laut sedikit
Pasir Sari	0.284	Tidak terintrusi

Kauman merupakan *connate water*. Untuk aliran air tanah dangkal pada bagian timur, terlihat berada pada zona tengah diagram Trilinier Piper yang merupakan zona percampuran air tawar dan air asin. Semakin ke utara daerah penelitian, letak air tanah pada diagram Trilinier Piper semakin bergeser ke arah kanan (sampel no 8 ke no 7). Hal tersebut mengindikasikan adanya proses intrusi air tanah. Berdasarkan nilai Khlorida - Bicarbonat Ratio, aliran air tanah yang terkena intnusi di jalur aliran timur adalah daerah Pantai Sari (7) dengan nilai R lebih dari 0,5. Secara keseluruhan aliran air tanah jalur timur mengindikasikan adanya intrusi sebagaimana ditunjukkan oleh diagram Trilinier Piper dimana semakin mendekati laut, posisi titik menuju ke bagian kanan posisi intrusi.

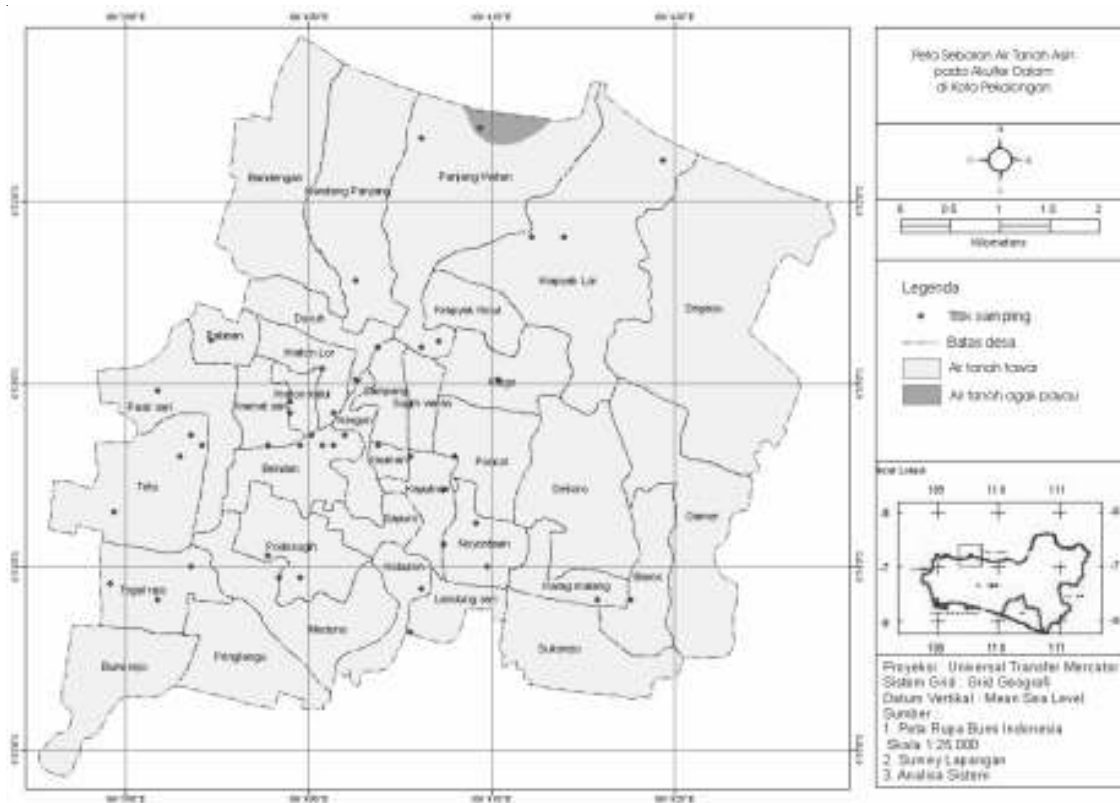
Untuk akuifer dalam, pada aliran air tanah di bagian barat yang diwakili sumur bor di Pabean (2) dan Pasir Sari (1) terlihat berada pada wilayah tengah diagram yang merupakan daerah percampuran dua macam air dari jenis yang berbeda (Gambar 4). Pada gambar terlihat posisi titik 2 yang berada agak ke kiri jajaran genjang yang merupakan air tawar dan titik 1 yang semakin ke kanan atas menuju pada air asin. Posisi titik juga semakin menuju ke bagian puncak diagram, yang mengindikasikan bahwa sumur 1 di Pabean menunjukkan adanya gejala intrusi air laut dalam tingkat sangat awal. Hal ini juga diperkuat dengan nilai Rasio Khlorida Bicarbonat sebesar 0,9 yang berarti telah terjadi intrusi air laut dengan tingkat awal (Suharyadi, 1984).



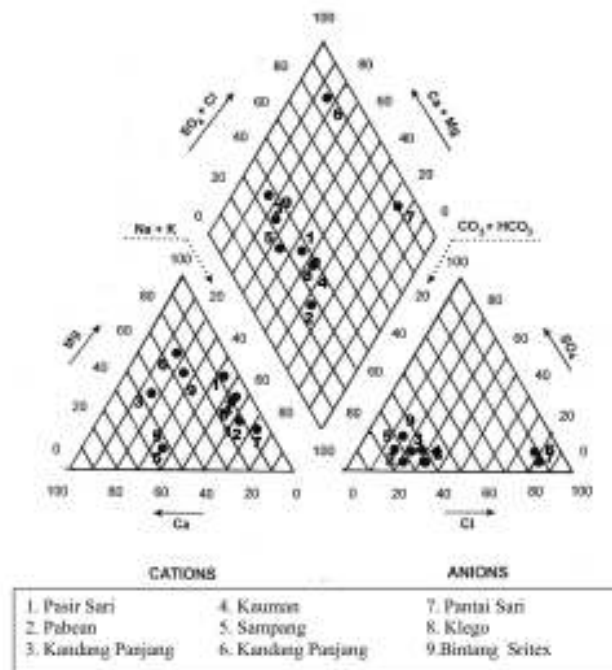
Gambar 1. Skema Diagram Trilinier Piper (Mandel and Shiftan, 1981).



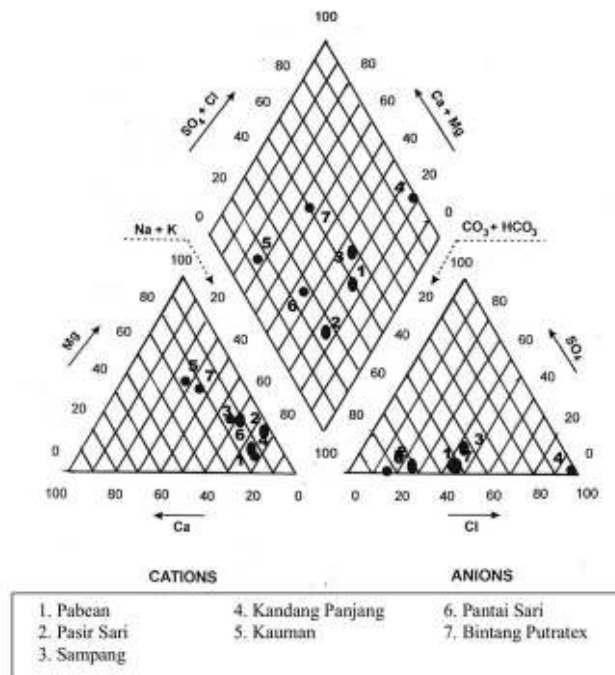
Gambar 2. Peta Sebaran Air Tanah Dangkal (Akuifer Bebas) di Kota Pekalongan



Gambar 3. Peta Sebaran Air Tanah Dalam di Kota Pekalongan



Gambar 4. Diagram trilinear piper airtanah pada akuifer dangkal di Kota Pekalongan



Gambar 5. Diagram trilinear piper air tanah pada akuifer dalam di Kota Pekalongan

Di bagian tengah daerah penelitian, aliran air tanah mengalir dari selatan menuju ke utara. Titik sumur yang mewakili wilayah ini adalah titik sumur di Kauman dan Kandang Panjang. Aliran air tanah diduga mengalir dari sumur Kauman (5), Sampang (3) hingga Kandang Panjang (4). Berdasarkan diagram Trilinear terlihat bahwa titik Kauman berada di kiri tengah, sedangkan titik Kandang Panjang yang mendekati laut berada di kanan tengah sedikit lebih atas dibandingkan titik Kauman. Hal ini mengindikasikan adanya penambahan air asin yang mengarah pada awal proses intrusi. Namun demikian berdasarkan nilai Rasio Klorida Bicarbonat, sumur dalam di lokasi tersebut mempunyai harga 0,219 dan 0,243 yang berarti airtanah dalam kondisi tawar dan belum terjadi intrusi air laut. Nilai DHL pada kedua lokasi juga menunjukkan angka kurang dari 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ yang berarti tawar.

Di bagian timur, air tanah diduga mengalir dari Poncol (PT. Bintang Putratex (7)), ke pekalongan Utara (Pantai Sari / Relabuhan Perikanan Nusantara (6)). Pada Diagram Trilinear Piper (Gambar 4) titik 6 (Pantai Sari) dan 7 (PT. Bintang Putratex) terletak pada bagian tengah jajaran genjang dari diagram dimana hal tersebut menunjukkan adanya percampuran air tawar dan air asin. Terlihat bahwa semakin ke utara letak titik sumur, posisi titik dalam diagram justru semakin ke arah bawah - kiri jajaran genjang menuju pada unsur

kimia air tawar. Dengan demikian berdasarkan diagram trilinear piper tidak ada intrusi di daerah ini. Namun demikian nilai Klorida Bicarbonat Ratio yang menunjukkan nilai 0,9 di PT. Bintang Putratex yang berarti mengindikasikan terjadi pengaruh air laut dengan tingkat sedikit, sedangkan di Pantai Sari yang dekat dengan pantai menunjukkan nilai DHL lebih dari 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ yang berarti airtanah dalam kondisi agak payau. Dengan demikian diduga pada bagian timur Pekalongan telah terjadi sedikit intrusi air laut.

Kesimpulan

Di daerah pantai Kota Pekalongan, airtanah tawar dengan DHL < 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dijumpai di bagian selatan dengan batas utara melalui Dukuh, Krapyak Kidul hingga Dehayu bagian selatan. Untuk air tanah agak payau dengan DHL 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ - 2.200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dijumpai di sebelah utara, meliputi Desa Bandengan, Kandang Panjang, Panjang Wetan, Krapyak Lor, dan sebagian Degayu. Sedangkan untuk airtanah dalam seluruhnya dalam kondisi tawar dengan nilai DHL < 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, kecuali sumur di Pantai Sari tergolong agak payau dengan DHL 1.602 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Berdasarkan analisis fasies hidrokimia diketahui bahwa airtanah dangkal di Kota Pekalongan telah terintrusi air laut secara merata pada bagian tepi pantai, sedangkan untuk akifer dalam juga tampak mulai

muncul tanda-tanda intrusi terutama pada wilayah bagian barat dan tengah, namun belum sampai membuat airtanah menjadi asin. Sedangkan di wilayah timur sekitar Pelabuhan Perikanan Nusantara belum tampak adanya gejala intrusi air laut.

Daftar Pustaka

- Badan Perencanaan Pembangunan dan Penanaman Modal Kota Pekalongan, 2005. *Kota Pekalongan Dalam Angka*. Pemerintah Kota Pekalongan. 338 hal.
- Prasetyo E. 1982. Pengukuran Tahanan Jenis dan Chargeability di daerah Indramayu. LIPI 07/LGN. Bandung. 126 hal.
- Juri, M. 1992. Peta Geologi Lembar Purwokerto dan Tegal. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Mandel, S. dan Shiftan, Z. L. 1981. *Groundwater Resources : Investigation And Development*. Academic Press. London. 256 hal
- Nurwidiyanto, I, Yulianto G. dan Widada S., 2005. Perkembangan Intrusi Air Laut Pada Akifer Dangkal di Kota Semarang. *Berkala Fisika*, 8 (3) : 87 -90
- Rochaddi, B., Widada, S., dan Atmodjo W., 2001. Deteksi Intrusi Air Laut Dengan Metode Resistivity di Kecamatan Tugu, Semarang. Tidak Dipublikasikan. Lembaga Penelitian Universitas Diponegoro. 56 hal
- Saputra, S.1998. Telaah Geologi Terhadap banjir dan Rob Kawasan Pantai Semarang, *Jurnal Ilmu Kelautan* 3 (10) : 85-92.
- Sihwanto dan Satriyo. 1991. Metode Penentuan Penyebab Keasinan Air Tanah : Studi Kasus Daerah Dataran Pantai Dumai, Riau. Kumpulan Makalah Ikatan Ahli Geologi Indonesia. Bandung. Hal 26-40.
- Suharyadi. 1984. Diktat Kuliah Geohidrologi. Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada. Yogyakarta. 191 hal.
- Todd, D. K. 1980. *Groundwater Hidrology*, 3rd Edition. John Willey & Sons. New York. 353 pp.
- Widada, S. Rochaddi, B., dan Atmodjo W., 1994. Deteksi Intrusi Air Laut Dengan Metode Tahanan Jenis dan Polarisasi Terimbas di Daerah Pantai Jepara. Tidak dipublikasikan. Lembaga Penelitian Universitas Diponegoro. 84 hal.
- Widada, S. Rochaddi, B., dan Atmodjo W., 2000. Sebaran dan Genesa Air Tanah Asin Pada Akuiifer Dangkal di Daerah Kota Semarang. Tidak dipublikasikan. Lembaga Penelitian Universitas Diponegoro. 58 hal.