

DISTRIBUSI AIR TANAH ASIN DI DATARAN PANTAI KOTA SEMARANG DAN KESEDIAAN MEMBAYAR PENDUDUK DALAM PERBAIKAN KONDISI SUMBER AIR

Oleh :

Ig. Setyawan Purnama

Staf Pengajar Fakultas Geografi UGM, Yogyakarta

INTISARI

Penelitian ini mempunyai empat tujuan. Pertama, mengidentifikasi dan menganalisis kondisi kualitas airtanah. Kedua, menganalisis faktor-faktor yang menyebabkan terdapatnya airtanah asin di daerah penelitian. Ketiga, mengidentifikasi dan menganalisis daerah-daerah yang masih mempunyai kandungan air tawar dan keempat, menghitung dan menganalisis besarnya kesediaan membayar (WTP) penduduk di daerah penelitian dalam perbaikan kondisi sumber air.

Untuk mencapai tujuan tersebut dilakukan pengambilan 59 sampel airtanah dan empat sampel air sungai. Disamping itu, juga dilakukan pengukuran geofisika permukaan di 30 titik dan wawancara terhadap 118 responden. Penentuan sampel airtanah dilakukan secara stratified random sampling, sedangkan penentuan sampel air sungai, titik pengukuran geofisika permukaan dan pemilihan responden dilakukan secara purposive sampling.

Untuk mengidentifikasi dan menganalisis kondisi kualitas airtanah digunakan analisis spasial dan analisis statistik. Untuk menganalisis distribusi air asin digunakan metode Revelle dengan menghitung rasio $[Cl^-]/([HCO_3^-] + [CO_3^{2-}])$, sedangkan metode Kloosterman dengan diagram Piper segiempat digunakan untuk menganalisis faktor penyebabnya. Untuk mengidentifikasi keberadaan air tawar dilakukan pendugaan geolistrik yang kemudian dianalisis menggunakan program Schlumberger O'Neil. Selanjutnya, untuk menghitung dan menganalisis besarnya kesediaan membayar (WTP) digunakan analisis CVM.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa airtanah di daerah pantai mengandung DHL, kesadahan, kalsium, magnesium, natrium, kalium, klorida, sulfat dan salinitas dalam konsentrasi tinggi. Kesimpulan ini juga didukung oleh hasil analisis statistik. Diketahui juga bahwa sebagian besar airtanah di daerah penelitian telah tercemar air asin dengan tingkat keterpengaruhannya yang bervariasi. Pencemaran air asin tersebut terutama disebabkan oleh air evaporit. Hasil analisis geolistrik menunjukkan bahwa di bawah lapisan air asin, dapat ditemukan lapisan air tawar dengan kedalaman dan produktivitas yang bervariasi. Selanjutnya, hasil analisis CVM menunjukkan bahwa penduduk daerah penelitian bersedia membayar perbaikan kondisi sumber air lebih tinggi daripada harga air dari PDAM yang berlaku pada saat ini.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Ditinjau secara hidrologi, ada dua permasalahan utama yang dihadapi Kota Semarang. Di daerah perbukitan mempunyai masalah air bersih dalam hal ketersediaannya yang tidak merata. Air hanya didapatkan di lembah-lembah dan cekungan. Selain itu di beberapa tempat seperti Mateseh, Gunungpati dan Manyaran, air cenderung keruh karena adanya lapisan lempung berkapur.

Di daerah pantai kendala air yang dihadapi adalah pada aspek kualitas air, khususnya dengan adanya air asin. Kepadatan penduduk yang tinggi dan banyaknya industri menyebabkan tingginya pencemaran air di pusat kota (dataran pantai), sehingga penduduk di daerah pantai banyak yang menggunakan sumur bor dalam (kedalaman lebih dari 100 meter). Disamping itu berdasarkan hasil penelitian Purnama (2002), eksploitasi airtanah di Kota Semarang memang telah melampaui hasil amannya (*safe yield*). Kedua faktor ini menyebabkan terjadinya perluasan wilayah yang mengalami intrusi air laut. Sumur-sumur penduduk di daerah Poncol, Genuk dan Johar yang dahulu airnya tidak asin, sekarang sudah tidak dapat dijadikan sumber air sehari-hari, karena airnya sudah berasa asin (Hariyanto, 2002).

Menurut Kloosterman (1989), pesisir utara Propinsi Jawa Barat dan Jawa Tengah, merupakan dataran aluvial yang terbentuk oleh proses fluvial dan proses marin. Di dalam akuifer pesisir ini terdapat endapan-endapan lempung marin yang berupa lensa-lensa. Di dalam lensa-lensa ini terjebak air fosil asin sejak formasi ini terbentuk di daerah laut. Disamping itu, di daerah ini juga terkandung batuan evaporit, yaitu batuan yang mengandung kristal-kristal garam akibat penguapan air asin pada periode kering yang panjang di masa geologi purba. Bila airtanah mengalami kontak dengan batuan ini, akan terjadi pelarutan garam dan air akan berasa payau ataupun asin. Oleh karena Kota Semarang terletak di pesisir utara Propinsi Jawa Tengah, maka keasinan airtanahnya kemungkinan juga dapat disebabkan oleh adanya air fosil dan air evaporit ini.

Berdasarkan latar belakang ini, disusun perumusan masalah sebagai berikut :

- 1) Bagaimana kondisi kualitas airtanah di daerah penelitian?
- 2) Apa faktor yang menyebabkan terdapatnya airtanah asin di daerah penelitian?
- 3) Mungkinkah mendapatkan air tawar pada daerah yang telah tercemar air asin?
- 4) Berapa nilai kesediaan membayar (WTP) penduduk di daerah penelitian dalam perbaikan kondisi sumber air?

Tujuan Penelitian

Dari perumusan masalah tersebut, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Mengidentifikasi dan menganalisis kondisi kualitas airtanah di daerah penelitian.
- 2) Menganalisis faktor-faktor yang menyebabkan terdapatnya airtanah asin di daerah penelitian.

- 4) Menghitung dan menganalisis kesediaan membayar penduduk di daerah penelitian dalam perbaikan kondisi sumber air.

Tinjauan Pustaka

Airtanah asin adalah air asin yang ditemukan dalam tanah yang berada di daratan. Zat kimia yang paling bertanggung jawab sebagai penyebab keasinan airtanah adalah ion klorida, karena ion kimia ini menyebabkan meningkatnya salinitas air (Saeni, 1989). Kation dari garam-garam klorida dalam air terdapat dalam keadaan mudah larut, dan ion klorida umumnya tidak membentuk senyawa kompleks yang kuat dengan ion-ion logam dalam air. Selain itu ion klorida tidak dapat dioksidasi dalam keadaan yang tidak stabil dalam perairan alami.

Ion klorida berasal dari berbagai macam sumber, yaitu dari presipitasi, intrusi air laut, pencemaran air dan batuan. Ion klorida yang berasal dari batuan terutama bersumber dari batuan sedimen yang belum mengalami diagenesis atau batuan sedimen yang belum mengalami pemampatan. Pada batuan beku, ion klorida bersumber dari feldspathoid sodalite, $\text{Na}_8(\text{AlSiO}_4)_6\text{Cl}_2$ dan mineral fosfat (apatit, $\text{Ca}_3\text{FCIOH}(\text{PO}_4)_3$) (Hem, 1970). Meskipun demikian, kadar ion klorida dalam batuan beku pada umumnya rendah, sehingga bila dijumpai air dengan kadar ion klorida tinggi dipastikan bahwa air tersebut memperoleh ion klorida yang bersumber dari luar batuan tersebut.

Meskipun ion klorida merupakan sumber utama keasinan air, tetapi tidak boleh dilupakan peran beberapa ion lain terhadap salinitas air. Menurut Matthes (1982), Hendry dan Cherry (1986) serta Heath dan Kahl (1992), ion natrium dan sulfat merupakan dua jenis ion yang dapat pula menyebabkan peningkatan salinitas air.

Menurut Shibasaki (1995) dan Fetter (1988), pada umumnya adanya air asin di daratan disebabkan oleh intrusi air laut dan air fosil. Meskipun demikian, secara teoritis ada sembilan fenomena penyebab keasinan air dalam tanah, yaitu intrusi air laut di daerah pantai, adanya air fosil yaitu air laut yang terjebak di daratan di masa geologi lampau, penguapan yang intensif pada laguna dan daerah tertutup lainnya, pancaran air laut di sepanjang pantai akibat angin kencang yang berhembus dari laut, pasang surut serta badai yang terjadi pada pantai yang rendah dan daerah estuaria, pelarutan batuan evaporit oleh airtanah, air asin dari kubah garam, limbah pertanian dan limbah domestik serta aliran balik dari air irigasi, terutama bila berada pada tanah yang bersifat asin dan bila sebagian besar air irigasi mengalami penguapan (FAO, 1997).

Menurut Wagner, Shamir dan Nemati (1992) adanya airtanah asin merupakan bentuk pencemaran air, yang umumnya disebabkan oleh intrusi air laut akibat aktivitas manusia. Meskipun demikian, faktor lingkungan alami juga dapat mempermudah terjadinya intrusi air laut, seperti karakteristik pantai dan batuan penyusun, kekuatan aliran airtanah ke laut dan fluktuasi airtanah di daerah pantai.

Dalam kaitannya dengan keadaan sosial ekonomi, ada empat metode untuk mengukur

kesediaan membayar atau WTP (*willingness to pay*) dan kesediaan menerima atau WTA (*willingness to accept*). WTP adalah jumlah yang bersedia dibayar oleh individu atau sekelompok orang untuk mengembalikan kondisi kesejahteraan atau kepuasan yang semula mereka dapatkan (Pearce dan Turner, 1990). Preferensi individu terhadap nilai kerusakan lingkungan, ketidaknyamanan maupun peningkatan atau penurunan tingkat kesejahteraan atas pemanfaatan atau pengelolaan suatu sumberdaya tidak sama, sehingga timbul WTP yang beragam untuk tiap orang dalam hubungannya dengan pandangan mereka tentang nilai-nilai yang harga pasarnya tidak ada.

Jordan dan Elnagheeb (1993) menyatakan bahwa WTP seseorang untuk memperoleh kualitas air bersih yang lebih baik dipengaruhi oleh pendapatan rumah tangga, umur kepala keluarga, tingkat pendidikan kepala keluarga, persepsi terhadap kualitas air bersih yang sekarang dikonsumsi dan ketidakpastian tentang kuantitas dan kualitas air bersih yang dikonsumsi seseorang. WTP total dapat digunakan untuk menghitung WTP masyarakat surplus konsumen total.

Menurut Jordan dan Elnagheeb (1993), anggota masyarakat berusia muda umumnya lebih memperhatikan kualitas lingkungan daripada yang usianya tua. Selain itu anggota masyarakat yang berpendidikan tinggi cenderung lebih memperhatikan upaya-upaya pelestarian lingkungan daripada yang berpendidikan rendah. Selanjutnya Pearce dan Turner (1990) menyatakan bahwa gangguan-gangguan yang berupa ketidaknyamanan individu akibat perubahan lingkungan akan mempengaruhi ukuran penilaian yang diberikan oleh individu pada perubahan kesejahteraan yang terjadi. Ukuran penilaian individu dapat diperoleh dari WTP atau WTA yang bersangkutan.

Menurut Munasinghe (1993), ada suatu metode yang disebut metode valuasi kontingensi atau CVM (*contingent valuation method*) yang dapat digunakan untuk mempelajari preferensi masyarakat atau individu terhadap ketidaknyamanan. CVM merupakan suatu teknik yang potensial untuk mengukur nilai barang-barang yang tidak dipertukarkan di pasar atau tidak mempunyai harga pasar. CVM menggunakan survei dan teknik-teknik wawancara untuk menduga nilai yang diberikan individu atau masyarakat terhadap peningkatan atau penurunan mutu lingkungan dalam konteks pasar hipotesis. Whittington *et al.* (1993) menyatakan bahwa CVM semakin sering digunakan oleh para ahli ekonomi sumberdaya dan lingkungan di negara-negara industri untuk menduga manfaat-manfaat dari pengembangan lingkungan dan barang-barang publik.

Menurut Pearce dan Turner (1990), preferensi individu terhadap suatu benda tidak sama. Oleh karena itu konsep manfaat ditafsirkan dengan cara yang berbeda. Dapat diasumsikan bahwa preferensi positif terhadap suatu benda dapat diwujudkan dalam bentuk WTP untuk benda tersebut dan WTP untuk setiap individu tidak sama. WTP total merupakan agregasi dari WTP individu-individu tersebut. Seseorang tidak akan bersedia membayar untuk suatu benda yang tidak mereka inginkan, sehingga mengukur WTP seseorang dari harga pasar adalah tidak tepat karena dapat terjadi WTP seseorang lebih tinggi daripada harga pasar. Akibatnya konsumen akan menerima kelebihan keuntungan yang disebut surplus konsumen, yang dirumuskan :

Selanjutnya Pearce dan Turner (1990) menyatakan bahwa konsep keuntungan dapat dibedakan menjadi keuntungan yang didasarkan pada WTP dan keuntungan yang didasarkan pada WTA. WTP berpedoman pada jumlah pembayaran untuk menghindari atau mencegah kerugian, sedangkan WTA berpedoman pada jumlah yang diterima sebagai kompensasi kerugian tersebut, yang akan terus dirasakan dan tidak dapat dihindari. Secara singkat dapat dikatakan bahwa terdapat dua macam pengukuran dari manfaat yang diperoleh karena perbaikan lingkungan serta dua macam pengukuran kerugian akibat kerusakan lingkungan, yaitu WTP untuk mengamankan manfaat (*WTP to secure a benefit*), WTA untuk manfaat yang hilang (*WTA to forego benefit*), WTP untuk menghindari kerugian (*WTP to prevent a loss*) dan WTA untuk mentolerir kerugian (*WTA to tolerate a loss*). Pada umumnya, pencegahan kerugian lebih sering dilakukan dibandingkan dengan upaya mengamankan keuntungan.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

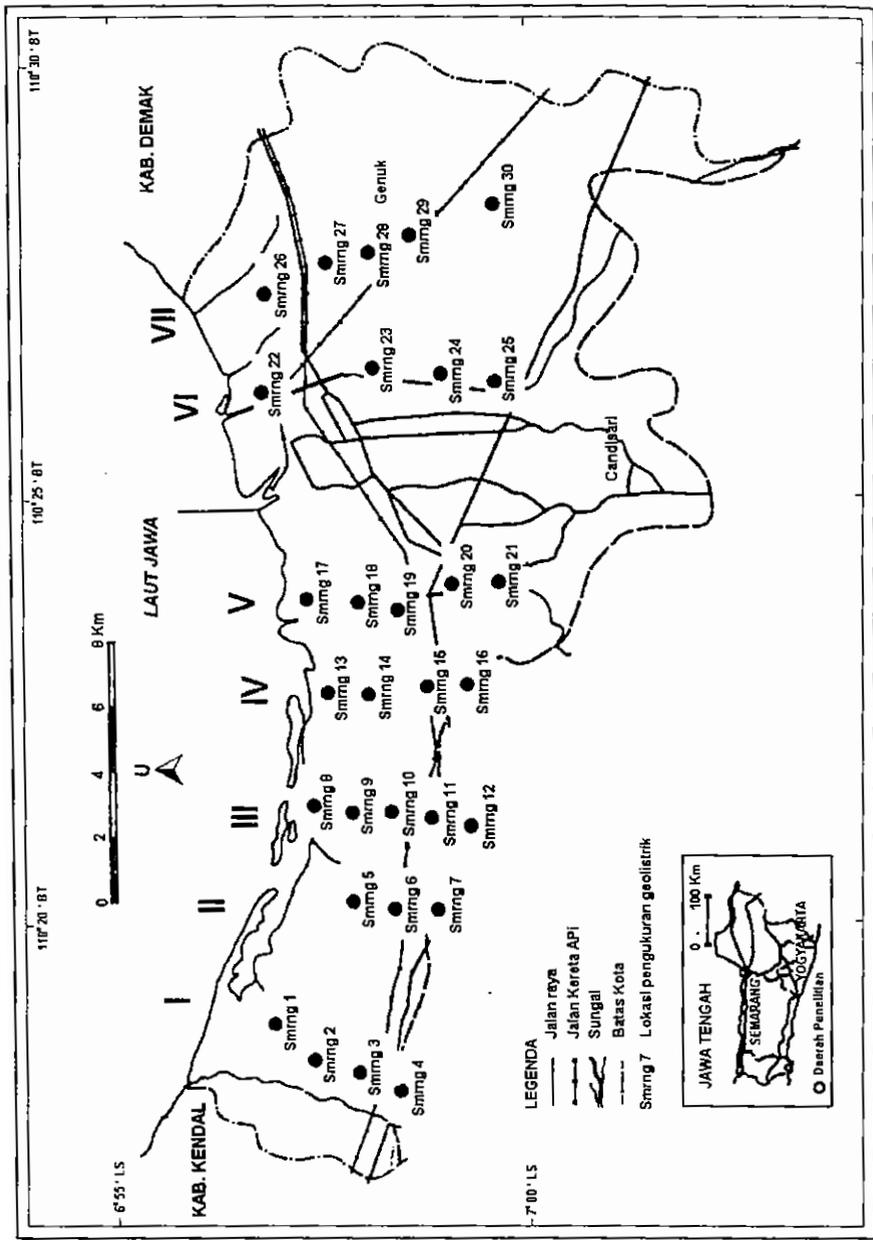
Bahan penelitian adalah sampel airtanah dan beberapa jenis peta yang berkaitan dengan topik penelitian, sedangkan alat yang digunakan adalah *cemerer water sampler*, satu set peralatan geolistrik dan kuesioner.

Cara Penelitian

Ada empat jenis sampel yang digunakan dalam penelitian ini. Pertama adalah sampel airtanah yang diambil dari sumur gali, kedua adalah sampel air sungai (untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penyusupan air sungai ke dalam airtanah di sekitarnya), ketiga adalah sampel pengukuran geofisika permukaan dan keempat adalah sampel yang digunakan untuk mengetahui kondisi sosial ekonomi penduduk dan perhitungan WTP atau disebut responden. Pada Tabel 1 ditunjukkan jumlah dan teknik pengambilan sampel untuk tiap jenis sampel yang digunakan dalam penelitian ini (Singarimbun, 1980 ; Casey, Nemetz dan Uyeno, 1983), sedangkan pada Gambar 1 ditunjukkan lokasi pengukuran geolistrik.

Tabel 1. Jumlah dan teknik pengambilan sampel untuk tiap jenis sample

No.	Jenis sampel	Jumlah sampel	Teknik pengambilan Sampel	Keterangan
1.	Airtanah		<i>Stratified random sampling</i>	Diambil dari sumur gali, stratifikasi berdasarkan variasi DHL
	- DHL < 1000 μ mhos/cm	29		
	- DHL \geq 1000 μ mhos/cm	30		
2.	Air sungai		<i>Purposive sampling</i>	Sebagai kontrol
	- Sungai Garang	2		
	- Sungai Semarang Timur	2		0,25 & 2,10 km dari muara 0,90 & 2,70 km dari muara
3.	Geofisika permukaan	30	<i>Purposive sampling</i>	Berdasarkan jarak antar titik pengukuran dan kondisi jalan
4.	Responden	118	<i>Purposive sampling</i>	Pemilik sumur dan tetangga terdekat yang memiliki sumur



Gambar 1. Lokasi Pengukuran Geolistrik

Untuk mengetahui sifat fisik dan kimia air, dilakukan analisis terhadap nilai kekeruhan, kadar kesadahan, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , CO_3^{2-} , NO_3^- , Fe^{2+} , Mn^{2+} dan salinitas. Suhu, DHL dan pH diukur langsung di lapangan.

Analisis Data

1. Analisis kualitas airtanah secara spasial

Analisis spasial digunakan untuk mengetahui distribusi masing-masing parameter kualitas airtanah di daerah penelitian, sehingga dapat diketahui sumbangan masing-masing parameter tersebut secara individual. Masing-masing parameter diplot pada peta dan dibuat permintakatan secara statistik berdasarkan nilai kuartil atas, tengah dan bawah dari kadar masing-masing parameter tersebut. Kemudian dilakukan pertampalan (*overlay*) dengan peta-peta yang berkaitan, sehingga dapat diinterpretasi faktor-faktor yang paling berpengaruh terhadap distribusi kualitas air tanah di daerah penelitian.

2. Analisis sifat fisik dan kimia air secara statistik

Analisis statistik digunakan untuk mengetahui secara kuantitatif korelasi dan model hubungan antara sifat fisik dan kimia airtanah dengan faktor-faktor lingkungan. Sebagai peubah tergantung adalah kadar sifat fisik dan kimia dan sebagai peubah bebas adalah faktor jarak dari pantai, kedalaman airtanah dan kepadatan penduduk.

3. Analisis tingkat pengaruh air asin dengan metode Revelle

Pengaruh air asin dapat dikenali dengan melihat perubahan komposisi kimia air, yaitu nilai rasio klorida terhadap bikarbonat dan karbonat, yang secara matematis ditulis dengan persamaan (1) dan tingkat pengaruhnya ditunjukkan pada Tabel 2.

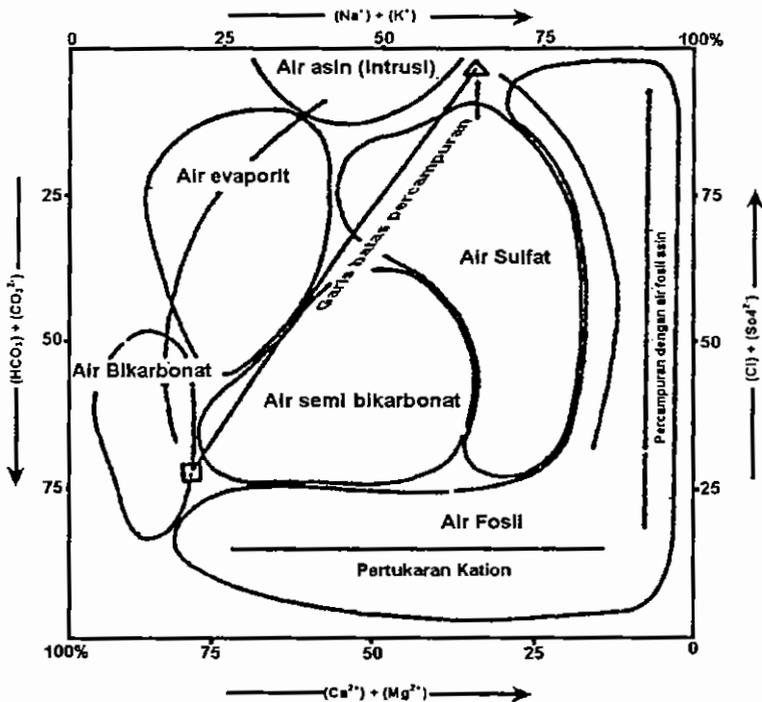
$$R_{Cl^-/HCO_3^-+CO_3^{2-}} = \frac{[Cl^-]}{[HCO_3^-] + [CO_3^{2-}]} \dots\dots\dots (1)$$

Tabel 2. Kriteria kelas tingkatan pengaruh air asin

No	$[Cl^-]/([HCO_3^-]+[CO_3^{2-}])$ (meq/l)	Tingkat pengaruh
1.	< 0,5	Airtanah normal di akuifer
2.	0,5 - 1,3	Sedikit pengaruh air asin
3.	1,3 - 2,8	Cukup banyak pengaruh air asin
4.	2,8 - 6,6	Banyak pengaruh air asin
5.	6,6 - 15,5	Sangat banyak pengaruh air asin

4. Analisis tipe kimia dan "asal airtanah" dengan metode Kloosterman

Kloosterman (1983) mengembangkan suatu sistem klasifikasi tipe kimia airtanah berdasarkan metode diagram Piper segiempat (Gambar 2). Selain dapat menentukan tipe kimia air, diagram ini juga dapat menentukan "asal air".



Gambar 2. Diagram Piper segiempat

5. Analisis geolistrik

Hasil pengukuran geolistrik di lapangan berupa data kuat arus dan perubahan potensial. Harga tahanan jenisnya, dihitung dengan rumus (Zohdy, 1980) :

$$R = K \frac{\Delta V}{I} \dots\dots\dots (2)$$

dengan R adalah tahanan jenis (*resistivity*), I adalah kuat arus searah yang dialirkan ke dalam tanah, DV adalah perubahan potensial yang terjadi dan K adalah konstanta yang tergantung pada jarak dan susunan elektrode. Selanjutnya data hasil pengukuran lapangan yang berupa jarak elektrode arus 0,5 L (m) dan harga tahanan jenis (Wm) dimasukkan dalam program Schlumberger O'Neil. Dari hasil pemrograman dapat ditentukan jenis...

Kondisi sosial ekonomi dan analisis kesediaan membayar

Untuk mengetahui kondisi sosial ekonomi masyarakat, dilakukan penelitian terhadap responden di daerah penelitian, yaitu pemilik sumur yang diambil sampel airnya dan tetangga sekitarnya. Pengumpulan data dilakukan dengan wawancara dan menggunakan kuesioner. Adapun data sosial ekonomi yang diidentifikasi adalah tingkat pendidikan, pekerjaan, pendapatan, luas rumah, luas pekarangan, jumlah penggunaan air, keadaan sumur, kedalaman sumur, keadaan tangki septik, jarak sumur terhadap tangki septik dan penyakit yang berkaitan dengan air yang pernah diderita. Selain data tersebut diidentifikasi pula parameter-parameter lain seperti usia kepala keluarga, persepsi tentang kualitas airtanah, persepsi tentang kuantitas airtanah, kepemilikan sumber air selain sumur airtanah, sikap atas rendahnya kualitas airtanah dan sikap atas rendahnya kuantitas airtanah.

Untuk menganalisis kesediaan membayar diterapkan teori CVM menggunakan ukuran kesejahteraan WTP. Teori CVM menekankan pada suatu teknik valuasi benda lingkungan secara langsung dengan menanyakan kesediaan membayar (WTP) pada penduduk dengan titik berat preferensi individu menilai benda publik dengan standar nilai uang, sehingga komoditas yang tidak diperdagangkan dapat diestimasi nilai ekonominya.

Pelaksanaan CVM untuk mengukur nilai ekonomi perubahan kesejahteraan meliputi beberapa tahap berikut ini :

- 1) Membentuk pasar hipotetik (*hypothetical market*)
Pada penelitian ini pasar hipotetik yang dibentuk adalah suatu pasar dengan kondisi yang berbeda dengan kondisi sumber air yang ada pada saat ini. Untuk itu responden diminta untuk mendengarkan atau membaca pernyataan yang dicantumkan dalam kuesioner. Berdasarkan pernyataan tersebut, akan diperoleh ukuran perilaku konsumen dalam situasi hipotesis, bukan dalam situasi sebenarnya.
- 2) Memperoleh nilai penawaran (*bids*)
Setelah responden diberi gambaran secara detil dan jelas tentang kondisi air yang akan diterimanya dalam situasi hipotesis (dalam hal ini apabila dibangun instalasi air dari PDAM), maupun kompensasi yang harus ditanggung, maka diberikan nilai penawaran yang bersedia dibayar oleh responden. Dalam penelitian ini digunakan metode penawaran seperti yang dilakukan oleh Jordan dan Elnagheeb (1993), dengan menyediakan berbagai pilihan nilai WTP. Selanjutnya responden diminta memilih nilai tertinggi yang bersedia dibayar.
- 3) Menghitung dugaan rata-rata WTP (Expected WTP)
Dugaan rata-rata WTP ditentukan dengan rumus :

$$EWTP = \sum_{i=1}^n W_i P_i \dots \dots \dots (3)$$

dengan EWTP adalah dugaan rata-rata WTP. W adalah batas bawah kelas WTP, P_f adalah

4) Menentukan WTP total (Total WTP)

Nilai WTP total berfungsi untuk menduga populasi secara keseluruhan. TWTP responden ditentukan dengan rumus :

$$TWTP = \sum_{i=1}^n WTP_i [n_i / N] P \dots\dots\dots (4)$$

dengan TWTP adalah kesediaan populasi rumah tangga untuk membayar, WTP adalah kesediaan individu (sampel) untuk membayar, n adalah jumlah sample yang bersedia membayar sebesar WTP, N adalah jumlah sampel seluruhnya, P adalah jumlah populasi rumah tangga dan i adalah sampel ke i

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

1. Kondisi Airtanah di Daerah Penelitian

Hasil analisis spasial menunjukkan bahwa airtanah di sepanjang pantai daerah penelitian mempunyai nilai DHL, kesadahan dan kadar ion Cl⁻ sangat tinggi serta kadar ion Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, SO₄²⁻ dan salinitas yang tinggi hingga sangat tinggi (Tabel 3).

Tabel 3. Hasil analisis kondisi airtanah menggunakan analisis spasial

No.	Parameter	Tingkat konsentrasi berdasarkan wilayah geografis		
		Bagian utara (pantai)	Bagian tengah	Bagian selatan (hulu)
1.	DHL	Sangat tinggi	Agak tinggi-tinggi	Rendah-tinggi
2.	Kekeruhan	Rendah-agak tinggi	Rendah-tinggi	Agak tinggi-sangat tinggi
3.	Kesadahan	Sangat tinggi	Sangat tinggi	Tinggi-sangat tinggi
4.	Kalsium	Tinggi-sangat tinggi	Agak tinggi-tinggi	Rendah-agak tinggi
5.	Magnesium	Tinggi-sangat tinggi	Rendah-sangat tinggi	Rendah-sangat tinggi
6.	Natrium	Tinggi-sangat tinggi	Rendah-tinggi	Rendah-tinggi
7.	Kalium	Tinggi-sangat tinggi	Rendah-tinggi	Rendah-tinggi
8.	Bikarbonat	Rendah-sangat tinggi	Rendah-sangat tinggi	Rendah-sangat tinggi
9.	Klorida	Sangat tinggi	Agak tinggi-sangat tinggi	Rendah-tinggi
10.	Sulfat	Tinggi-sangat tinggi	Rendah-sangat tinggi	Rendah-sangat tinggi
11.	Besi	Rendah-agak tinggi	Rendah-sangat tinggi	Rendah-tinggi
12.	Mangan	Rendah-sangat tinggi	Rendah-sangat tinggi	Rendah-tinggi
13.	Nitrat	Rendah-agak tinggi	Rendah-sangat tinggi	Rendah-sangat tinggi
14.	Salinitas	Tinggi-sangat tinggi	Agak tinggi-sangat tinggi	Rendah-sangat tinggi

Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa variabel jarak dari pantai sangat berpengaruh terhadap sifat fisik dan kimia airtanah di daerah penelitian (Tabel 4). Untuk DHL variabel ini memberikan nilai F terhitung sebesar 0,95 sedangkan F kritis adalah

jarak dari pantai terhadap besarnya nilai DHL. Variabel jarak dari pantai juga memberikan sumbangan nyata terhadap besar kecilnya nilai kesadahan, kadar kalsium, natrium, kalium, klorida dan salinitas, dengan F terhitung masing-masing sebesar 7,80, 7,77, 6,79, 6,45, 7,48 dan 4,88. Untuk kekeruhan, pH dan magnesium, selain ditentukan oleh variabel tersebut, juga ditentukan oleh variabel kepadatan penduduk yang masing-masing memberikan nilai F terhitung sebesar 19,77, 14,12 dan 4,84, sedangkan suhu hanya ditentukan oleh variabel kedalaman muka airtanah dengan nilai F terhitung 4,36. Selanjutnya untuk mengetahui seberapa besar pengaruh ketiga variabel tersebut terhadap sifat fisik dan kimia airtanah di daerah penelitian, dilakukan korelasi antar faktor. Hasil analisis korelasi ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 4. Regresi sifat fisik dan kimia airtanah dengan faktor jarak dari pantai (x1) kedalaman muka airtanah (x2) dan kepadatan penduduk (x3)

No.	Parameter	Persamaan Regresi	F terhitung
1.	DHL	$Y = 5702,36 - 598,35 (x1)$	9,85
2.	Suhu	$Y = 28,46 + 2,90 (x2)$	4,36
3.	Kekeruhan	$Y = 2,29 + 2,44 (x1) + 4,80 (x3)$	19,77
4.	pH	$Y = 7,24 + 0,08 (x1) + 0,13 (x3)$	14,12
5.	Kesadahan	$Y = 1073,79 - 83,45 (x1)$	7,80
6.	Kalsium	$Y = 238,02 - 20,659 (x1)$	7,77
7.	Magnesium	$Y = 150,48 - 9,73 (x1) - 22,63 (x3)$	4,84
8.	Natrium	$Y = 308,42 - 32,49 (x1)$	6,79
9.	Kalium	$Y = 49,03 - 5,09 (x1)$	6,45
10.	Klorida	$Y = 3535,99 - 466,23 (x1)$	7,48
11.	Salinitas	$Y = 2543,28 - 302,77 (x1)$	4,88

Tabel 5. Korelasi parameter kualitas airtanah dengan factor jarak dari pantai, kedalaman muka airtanah dan kepadatan penduduk.

No.	Parameter	Besarnya Korelasi		
		x1	x2	x3
1.	DHL	-0,55	-0,11	-0,25
2.	Suhu	0,11	0,41	-0,21
3.	Kekeruhan	0,57	0,06	0,52
4.	pH	0,55	-0,07	0,45
5.	Kesadahan	-0,49	-0,12	-0,24
6.	Kalsium	-0,52	-0,12	-0,16
7.	Magnesium	-0,34	-0,03	-0,33
8.	Natrium	-0,46	-0,09	-0,25
9.	Kalium	-0,48	-0,12	-0,18
10.	Klorida	-0,50	-0,14	-0,17
11.	Salinitas	-0,44	-0,11	-0,12

Uji dua sisi dengan nilai kritis korelasi Spearman $\pm 0,25614$ pada tingkat signifikansi 5% menunjukkan bahwa ketiga variabel tidak selalu mempunyai korelasi terhadap sifat fisik dan kimia airtanah. Variabel jarak dari pantai mempunyai korelasi

positif terhadap nilai kekeruhan dan pH, tetapi mempunyai korelasi negatif terhadap DHL, kadar kesadahan, kalsium, magnesium, natrium, kalium, klorida dan salinitas. Mempunyai korelasi positif artinya semakin jauh jarak dari pantai nilainya semakin besar, sedangkan mempunyai korelasi negatif artinya semakin jauh dari pantai nilainya semakin kecil.

Variabel kedalaman muka airtanah hanya mempunyai korelasi dengan suhu airtanah. Bentuk korelasinya adalah korelasi positif, yang artinya semakin dalam muka airtanah, suhunya semakin tinggi. Untuk variabel kepadatan penduduk, mempunyai korelasi positif terhadap nilai kekeruhan dan pH, tetapi mempunyai korelasi negatif terhadap kadar ion magnesium.

Distribusi Airtanah Asin di Daerah Penelitian

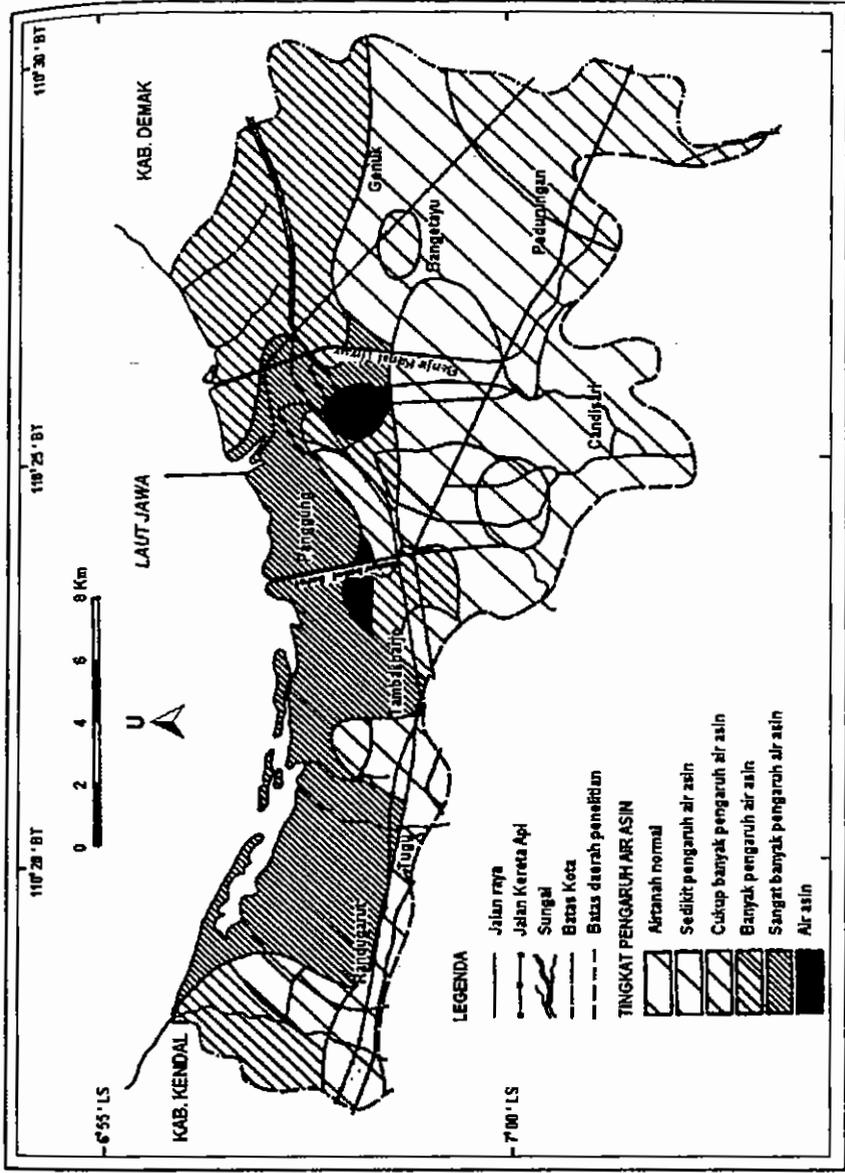
Hasil analisis menggunakan metode Revelle menunjukkan telah terjadinya pencemaran airtanah oleh air asin dengan tingkat keterpengaruhannya yang bervariasi (Tabel 6). Airtanah di daerah pantai secara umum lebih terpengaruh air asin daripada airtanah di daerah hulu (Gambar 3)

Tabel 6. Hasil analisis distribusi air asin menggunakan metode Revelle

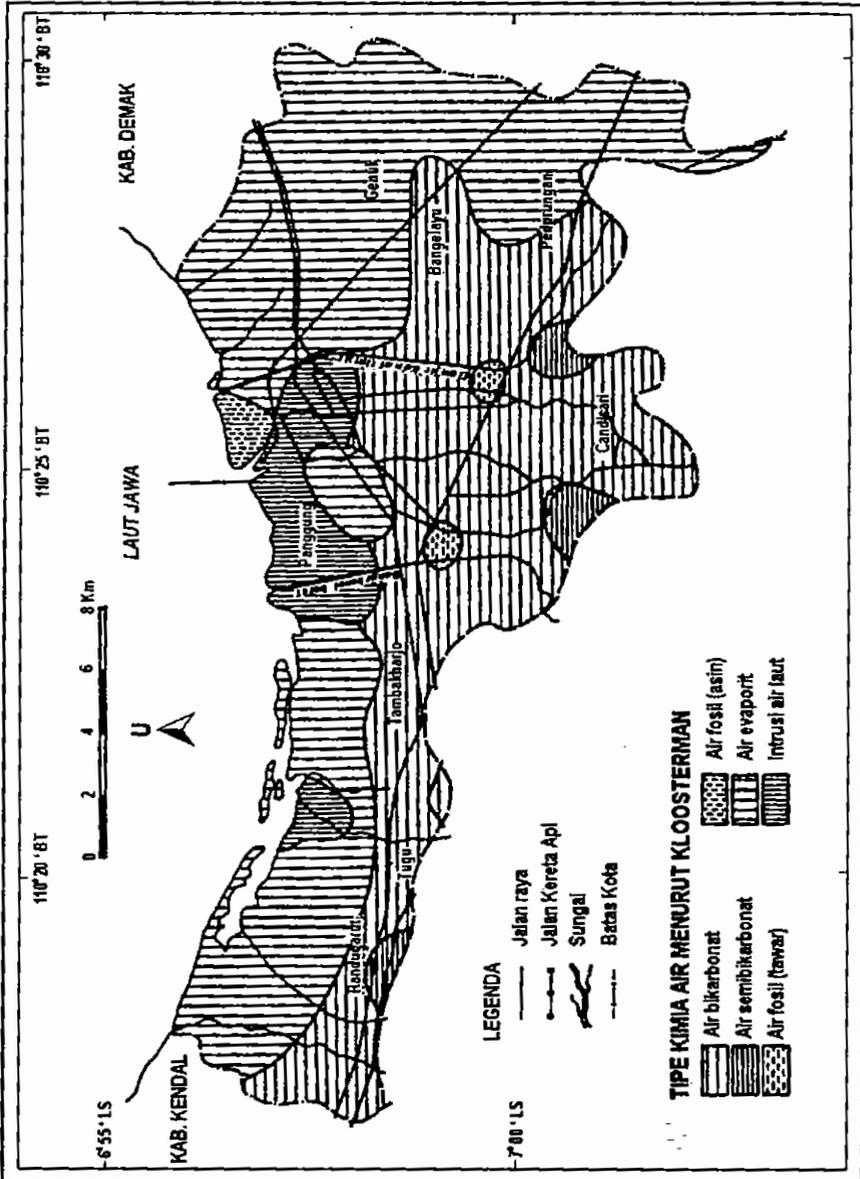
No.	Tingkat pengaruh air asin	Jumlah sampel
1.	Airtanah normal di akuifer	20
2.	Sedikit pengaruh air asin	13
3.	Cukup banyak pengaruh air asin	6
4.	Banyak pengaruh air asin	8
5.	Sangat banyak pengaruh air asin	8
6.	Komposisi kimia seperti air laut	4

Faktor-Faktor Penyebab Adanya Airtanah Asin

Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor-faktor yang menyebabkan adanya airtanah asin di daerah penelitian adalah intrusi air laut, air fosil dan air evaporit. Di bagian barat dan timur, adanya air asin dalam tanah disebabkan oleh air evaporit, sedangkan di bagian tengah yang merupakan pusat kota dengan kepadatan penduduk tinggi, disebabkan oleh intrusi air laut serta sebagian kecil oleh air fosil. Hasil analisis metode ini ditunjukkan pada Tabel 7, sedangkan distribusinya ditunjukkan di Gambar 4.



Gambar 3. Peta Distribusi Airtanah di Daerah Penelitian Berdasarkan Tingkat Keterpengaruhannya Terhadap Air Asin



Gambar 4. Peta distribusi Tipe Kimia dan Asal Airtanah

Tabel 7. Hasil analisis tipe kimia dan "asal air" menggunakan Metode Kloosterman

No.	Tipe kimia atau "asal air"	Jumlah sampel
1.	Air semibikarbonat (tawar)	3
2.	Air bikarbonat (tawar)	27
3.	Air fosil (tawar)	2
4.	Air fosil (asin)	1
5.	Air evaporit (asin)	20
6.	Air intrusi laut (asin)	6

Hasil Pengukuran Geolistrik

Hasil pengukuran geolistrik menunjukkan bahwa di daerah yang telah tercemar air asin, air tawar dapat ditemukan di bawah lapisan tersebut pada kedalaman dan produktivitas yang bervariasi. Hasil pengukuran selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil pengukuran geolistrik untuk mendeteksi adanya air asin dan air tawar

Jalur pengukuran	Titik pengukuran	Jarak dari pantai (km)	Kedalaman (dpt.m)		Produktivitas* akuifer
			air asin	air tawar	
Penampang I	Smrng1	0.9	0,9-59,5	59,5 →	sedang
	Smrng2	2.2	3,8-12,1	12,1 →	sedang
Penampang II	Smrng5	1.8	0,8-4,3	tak terdeteksi	-
	Penampang III	Smrng8	0.9	0,9-16,2	76,5 →
Penampang IV		Smrng9	1.9	0,9-19,0	19,0 →
	Smrng10	2.5	110 →	6,3-110,0	rendah
	Smrng13	0.9	2,4-7,3	7,3 →	tinggi
Penampang V	Smrng14	1.9	1,9-15,4	64,0 →	sangat tinggi
	Smrng17	0.4	0,8-11,4	tak terdeteksi	-
	Smrng18	1.6	3,2-11,6	11,6 →	rendah
Penampang VI	Smrng19	2.6	3,0-11,6	11,6 →	tinggi
	Smrng20	3.7	112 →	2,1-5,8	sedang
	Smrng22	0.9	3,6-11,5	11,5 →	rendah
	Smrng23	3.4	5,8-32,4	32,4 →	tinggi
Penampang VII	Smrng25	5.9	2,6-6,5 dan 41,9 →	tak terdeteksi	-
	Smrng26	1.3	0,9-8,1	tak terdeteksi	-
	Smrng27	3.0	15,7-34,8	tak terdeteksi	-
	Smrng28	3.6	5,1-47,9 dan 182 →	47,9-182,0	sedang

→ hingga kedalaman yang tidak diketahui * ditentukan berdasarkan nilai tahanan jenis

Kondisi Sosial Ekonomi Penduduk

Seperti dijelaskan dalam bab metode penelitian, dalam penelitian ini juga dilakukan pengamatan keadaan sosial ekonomi penduduk dan menghitung WTP penduduk untuk perbaikan kondisi sumber air. Jumlah responden dalam penelitian ini mencapai 118 orang, dengan 59 reponden merupakan pemilik sumur yang airnya diambil sebagai sampel dan 59

Tabel 9. Parameter yang diidentifikasi dalam penelitian sosial ekonomi

Parameter sosial ekonomi yang diidentifikasi	Jumlah responden	Persentase (%)
<u>Pendidikan</u> - tidak tamat SD	14	11,9
- tamat SD	48	40,7
- tamat SMP	28	23,7
- tamat SMA	14	11,9
- tamat PT	14	11,8
<u>Pekerjaan</u>		
- Pegawai negeri, TNI, POLRI	8	6,8
- Pegawai swasta	8	6,8
- Wiraswasta	23	19,5
- Petani	8	6,8
- Buruh	16	13,6
- Nelayan	39	33,0
- Jasa	16	13,5
<u>Pendapatan</u>		
- < Rp 500.000,00/bln	41	34,8
- Rp 500.000,00–Rp 1.000.000,00/bln	62	52,5
- > Rp 1.000.000,00/bln	15	12,7
<u>Luas rumah</u> - < 36 m ²	38	32,2
- > 36 m ²	80	67,8
<u>Luas tanah</u> - < 100 m ²	35	29,7
- > 100 m ²	83	70,3
<u>Jumlah penggunaan air</u>		
- < 60 liter/(orang.hari)	40	33,9
- > 60 liter/(orang.hari)	78	66,1
<u>Keadaan sumur</u> - dibeton	98	83,1
- tidak dibeton	20	16,9
<u>Keadaan tangki septik</u> - dibeton	118	100,0
- tidak dibeton	0	0,0
<u>Jarak sumur-tangki septik</u> - < 5 meter	9	7,6
- 5 – 10 meter	50	42,4
- > 10 meter	59	50,0
<u>Keadaan air</u>		
1) Kejernihan - jernih	80	67,8
- tidak jernih	38	32,2
2) Bau - tidak berbau	80	67,8
- berbau	38	32,2
3) Rasa - tidak berasa	58	49,2
- berasa	60	50,8
<u>Penyakit</u> - kulit	6	5,1

Dari Tabel 9 tersebut diketahui bahwa seluruh responden dalam penelitian sosial ekonomi ini tinggal di rumah permanen dengan 65,2% luas rumah lebih dari 36 m² dan 70,3% luas tanah lebih dari 100 m². Pendidikan responden 64,4% tamatan SD dan SMP, dengan 59,9% responden berprofesi sebagai petani, buruh dan nelayan. Ditinjau dari penghasilannya, 34,8% responden mempunyai penghasilan di bawah Rp 500.000,00/bulan, 52,5% antara Rp 50.000,00/bulan – Rp 1.000.000,00/bulan, sisanya berpenghasilan lebih dari Rp 1.000.000,00/bulan.

Dari hasil pengamatan, 81,3% sumur telah dibeton, dengan 50% sumur berjarak lebih dari 10 meter dari tangki septik. Seluruh tangki septik yang dijumpai selama penelitian lapangan, telah dibeton. Berdasarkan hasil wawancara, 67,8% responden menyatakan keadaan air sumurnya jernih, 32,2% sisanya menyatakan berwarna kekuningan. Demikian pula dengan bau air, 67,8% responden menyatakan sumurnya tidak berbau, sedangkan 32,2% sisanya menyatakan berbau. Dalam hal rasa, 50,8% responden menyatakan air sumurnya berasa payau atau asin, sehingga 50,8% responden mempunyai persepsi bahwa kualitas air sumur mereka jelek, dan terhadap keadaan ini 50,8% responden merasa berkeberatan. Untuk kuantitas air, seluruh responden menyatakan tidak menjadi permasalahan. Airtanah tersedia dalam jumlah cukup dan berkesinambungan, sehingga seluruh responden merasa tidak berkeberatan ditinjau dari ketersediaan airtanahnya.

Dalam kaitannya dengan penggunaan air, 66,1% responden menyatakan menggunakan air lebih dari 60 liter/(orang.hari). Untuk penyakit yang ada hubungannya dengan air yang dikonsumsi, 4,2% responden menyatakan pernah menderita penyakit perut (diare) dan 5,1% responden pernah menderita penyakit kulit (gatal-gatal).

Analisis Kesiediaan Membayar (WTP)

Hasil pelaksanaan CVM dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1) Pasar hipotetik (*hypothetical market*)

Responden memperoleh gambaran tentang kualitas dan kuantitas sumber air pada saat ini, dan perbandingannya apabila PDAM telah membangun instalasi air minum di daerah tersebut.

2) Perolehan nilai penawaran (*bids*)

Berdasarkan pertanyaan pada kuesioner, diperoleh jawaban responden tentang tawaran nilai untuk air yang kualitasnya lebih baik, berupa sejumlah uang yang bersedia mereka bayar (WTP) untuk membeli air dari PDAM.

3) Dugaan rata-rata WTP (EWTP)

WTP yang sebenarnya dari responden ke-i diduga berada antara pilihan jawaban yang diberikan (batas bawah kelas WTP, t_{ij}) dengan pilihan jawaban berikutnya (batas atas kelas WTP, t_{i+1j}). Pada Tabel 10 ditunjukkan distribusi WTP responden menurut kelas-kelas WTP, sebagai dasar untuk menentukan dugaan rata-rata WTP (EWTP) responden. Menurut Jordan dan Elnagheeb (1993) EWTP dapat dihitung dengan menggunakan rumus (3) berdasarkan data pada Tabel 10 tersebut. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai dugaan

Tabel 10. Distribusi WTP dan nilai EWTP responden

Kelas WTP (Rp/m ³)	Frekuensi	Persentase (Pf) (%)	EWTP (Rp/m ³)
1030 – 1080	72	63	648,9
1080 – 1130	19	16	172,8
1130 – 1180	12	10	113,0
1180 – 1230	3	2	23,6
1230 – 1280	5	4	49,2
1280 – 1330	3	2	25,6
> 1330	4	3	39,9
Jumlah	118	100	1.072,2

4) WTP total (TWTP)

WTP total atau TWTP penduduk untuk setiap m³ air bersih yang akan diperoleh dihitung dengan rumus (4) dan hasilnya ditunjukkan pada Tabel 11. Berdasarkan Tabel tersebut diketahui bahwa TWTP penduduk di daerah penelitian untuk perbaikan sumbu air adalah sebesar Rp 223.434.215,00/m³.

Tabel 11. TWTP penduduk untuk perbaikan kualitas air

Kelas WTP (Rp/m ³)	Frekuensi	Persentase (Pf) (%)	EWTP (Rp/m ³)
1030 – 1080	72	63	648,9
1080 – 1130	19	16	172,8
1130 – 1180	12	10	113,0
1180 – 1230	3	2	23,6
1230 – 1280	5	4	49,2
1280 – 1330	3	2	25,6
> 1330	4	3	39,9
Jumlah	118	100	1.072,2

Keterangan :

*) jumlah populasi rumah tangga daerah penelitian

**) populasi x titik tengah WTP (untuk WTP > Rp 1.330,00 titik tengah = 1995)

PEMBAHASAN

Ditinjau dari segi kualitas airnya, secara umum kondisi airtanah di daerah penelitian tidak begitu baik. Hal ini ditunjukkan tingginya nilai kekeruhan di seluruh daerah penelitian serta nilai DHL dan kesadahan, kadar kalsium, natrium, klorida dan salinitas di sebagian daerah. Ditinjau dari distribusinya, hasil analisis spasial menunjukkan bahwa

serta kadar kalsium, magnesium, natrium, kalium, sulfat dan salinitas yang tinggi hingga sangat tinggi.

Tinggi rendahnya nilai DHL sangat tergantung pada besarnya konsentrasi ion dan suhu air. Karena hasil penelitian menunjukkan suhu air tanah masih dalam kisaran normal, maka besarnya konsentrasi ion diperkirakan merupakan faktor yang paling bertanggung jawab terhadap tingginya nilai DHL. Ion-ion tersebut adalah kalsium, magnesium, natrium, kalium, klorida dan sulfat. Selain menyebabkan tingginya nilai DHL, ion natrium, klorida dan sulfat juga bertanggung jawab terhadap tingginya salinitas airtanah di sepanjang pantai.

Salinitas adalah suatu parameter yang menunjukkan besarnya kadar garam dalam air. Bila suatu air mempunyai kadar salinitas tinggi, berarti air tersebut mempunyai kadar garam yang tinggi yang menyebabkan air tersebut berasa asin. Hasil tumpang susun (*superimpose*) antara peta distribusi kadar salinitas airtanah dan peta distribusi airtanah berdasarkan tingkat keterpengaruhannya terhadap air asin (metode Revelle) menunjukkan pola yang kurang lebih sesuai. Artinya, daerah dengan tingkat keterpengaruhan air asin tinggi, kadar salinitasnya juga tinggi. Fenomena ini menjadi lebih menarik bila dikaitkan dengan hasil analisis metode Kloosterman.

Hasil tumpang susun antara peta distribusi tipe kimia airtanah menurut klasifikasi Kloosterman dengan kedua peta tersebut, juga menunjukkan pola yang kurang lebih sesuai. Secara lebih spesifik hasil analisis metode Kloosterman menunjukkan bahwa air asin yang terdapat di pantai bagian barat dan timur (Kecamatan Tugu dan Genuk) disebabkan oleh air evaporit, sedangkan air asin yang terdapat di pantai bagian tengah (Kecamatan Semarang Barat dan Semarang Utara) disebabkan oleh intrusi air laut dan sebagian kecil oleh air fosil. Jika hasil ini dikaitkan dengan kepadatan penduduknya, bagian tengah daerah penelitian adalah daerah dengan kepadatan penduduk tinggi dengan kebutuhan air yang tinggi pula. Air fosil di daerah ini kemungkinan disebabkan oleh pengaruh aliran sungai Semarang Timur yang mampu menetralkan periode kering yang terjadi pada saat itu, sehingga air asin dari laut yang terjebak di daratan tidak membentuk kristal garam seperti halnya pada air evaporit.

Hasil analisis spasial yang menunjukkan tingginya konsentrasi ion-ion pada airtanah di daerah pantai, secara kuantitatif juga didukung oleh hasil analisis statistik. Hasil analisis statistik menunjukkan secara signifikan bahwa faktor jarak dari pantai mempunyai korelasi negatif terhadap nilai DHL dan kesadahan, ion kalsium, ion magnesium, ion natrium, ion kalium, ion klorida dan salinitas. Artinya semakin mendekati pantai, nilai dan kadar parameter-parameter tersebut semakin tinggi.

Hasil pengukuran geolistrik menunjukkan bahwa di bawah lapisan air asin, dapat ditemukan lapisan air tawar dengan kedalaman dan produktivitas yang bervariasi. Air tawar ini terdapat pada akuifer semi tertekan. Dengan memperhatikan kedalaman dan produktivitasnya, akan dapat dilakukan pemboran air dengan biaya yang lebih efisien, sehingga ketergantungan terhadap instalasi penjernihan air dari Sungai Garang akan berkurang.

Dikaitkan dengan persepsi penduduk terhadap kondisi airtanah, sebagian penduduk

merasa berkeberatan dan berkeinginan kuat untuk memperbaikinya, yang ditunjang oleh hasil analisis WTP. Dari hasil perhitungan diketahui nilai WTP penduduk untuk perbaikan kondisi sumber air sebesar Rp 1.072,20/m³, sedangkan harga air dari PD yang berlaku pada saat ini adalah Rp 1.030,00/m³. Hasil ini menunjukkan bahwa penduduk bersedia membayar lebih untuk mendapatkan air yang baik.

KESIMPULAN

- 1) Airtanah di daerah pantai mempunyai nilai DHL dan kesadahan tinggi, serta kation kalsium, ion magnesium, ion natrium, ion kalium, ion klorida, ion sulfat dan salinitas yang tinggi pula. Tingginya kadar ion-ion tersebut (terutama natrium dan klorida) serta salinitas mengindikasikan bahwa airtanah telah tercemar air asin. Rasio anion klorida terhadap bikarbonat dan karbonat sebesar 0,51 meq/l hingga lebih dari 15, meq/l membuktikan hal serupa.
- 2) Adanya airtanah asin di daerah penelitian sebagian besar bukan disebabkan oleh intrusi air laut, melainkan oleh air evaporit, yaitu air hasil pelarutan kristal-kristal garam dari batuan evaporit. Akan tetapi, meskipun intrusi air laut hanya terjadi di pantai bagian tengah atau di pusat kota, faktor ini perlu diwaspadai karena sifatnya yang dinamis.
- 3) Hasil pengukuran geofisika permukaan menggunakan metode geolistrik menunjukkan bahwa di bawah lapisan air asin dapat ditemukan lapisan air tawar dengan kedalaman dan produktivitas yang bervariasi. Daerah-daerah dengan produktivitas akuifer tinggi antara lain Kecamatan Semarang Barat bagian utara dan Semarang Utara bagian barat daya (delta Sungai Garang) serta di Kecamatan Semarang Timur bagian tengah (hulu Sungai Semarang Timur). Air tawar tersebut berada pada akuifer semi tertekan.
- 4) Dugaan WTP rata-rata penduduk di daerah penelitian untuk perbaikan sumber air sebesar Rp 1.072,20/m³, dengan WTP total sebesar Rp 223.434.215,00/m³. Nilai WTP rata-rata ini lebih tinggi daripada harga air PDAM yang berlaku pada saat ini, yang mengindikasikan begitu kuatnya keinginan penduduk di daerah penelitian untuk mendapatkan air tawar dengan kualitas yang lebih baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini merupakan sebagian dari disertasi penulis pada Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Prof.Dr.Ir.Mu-chammad Sri Saeni,M.S (Gurubesar Kimia Lingkungan IPB) selaku ketua Komisi Pembimbing serta Prof.Dr.Ir.H.Supiandi Sabiham, M.Agr (Gurubesar Ilmu Tanah IPB) dan Prof.Dr.Ir.H.Bunaser Sanim,M.Sc (Gurubesar Ekonomi Pertanian IPB) selaku Anggota Komisi.

DAFTAR PUSTAKA

- Casey, D., PN Nemetz and DH Uyeno, 1983. Sampling Frequency for Water Monitoring: Measures of Effectiveness. *Water Resources Research* 19(5):1107-1110.
- FAO, 1997. *Seawater Intrusion in Coastal Aquifers. Guidelines for Study, Monitoring and Control*. Rome : FAO.
- Fetter, CW., 1988. *Applied Hydrogeology*. New York : Macmillan Publishing Company.
- Hariyanto, 2002. Tipologi dan Faktor Determinan Pemekaran Pinggiran Kota Semarang Tahun 1980-2000. *Thesis S2*. Yogyakarta : Program Pascasarjana UGM.
- Heath, RH and JS Kahl, 1992. Episodic Stream Acidification Caused by Atmospheric Deposition of Sea Salt at Acadia National Park, Maine, United States. *Water Resources Research* 28 (4) : 1081-1088.
- Hem, JD., 1970. *Study and Interpretation of The Chemical Characteristics of Natural Water*. Washington : United States Government Printing Office.
- Hendry, MJ and JA Cherry, 1986. Origin and Distribution of Sulfate in a Fractured Till in Southern Alberta, Canada. *Water Resources Research* 22 (1) : 45-61.
- Jordan, JL and AH Elnagheeb, 1993. Willingness to Pay for Improvement in Drinking Water Quality. *Water Resources Research* 29 (2) : 237-245.
- Kloosterman, FH., 1983. *Reconnaissance Study of Groundwater Resources in The Kabupaten Cirebon*. Bandung : Provincial Health Services Directorate CDC.
- Kloosterman, FH., 1989. *Groundwater Flow System in The Northern Coastal Lowlands of West and Central Java, Indonesia*. Yogyakarta : Kanisius.
- Matthess, G., 1982. *The Properties of Groundwater*. New York : John Wiley & Sons.
- Munasinghe, M., 1993. *Environmental Economics and Sustainable Development*. Washington : IBRD/The World Bank.
- Pearce, DW and RK Turner, 1990. *Economics of Natural Resources and The Environment*. London : Harvester Wheatsheaf
- Purnama, S., 2002. Hasil Aman Eksploitasi Airtanah di Kota Semarang, Propinsi Jawa Tengah. *Majalah Geografi Indonesia* 16 (2) : 77-85.
- Saeni, MS., 1989. *Kimia Lingkungan*. Bogor : Pusat Antar Universitas Ilmu Hayat, IPB.
- Shibasaki, T., 1995. *Environmental Management of Groundwater Basins*. Tokyo : Tokai University Press.
- Singarimbun, M dan S Effendi, 1989. *Metode Penelitian Survei*. Jakarta : LP3S
- Wagner, JM., U Shamir and HR Nemati, 1992. Groundwater Quality Management under Uncertainty : Stochastic Programming Approach and The Value of Information. *Water Resources Research* 28 (5) : 1233-1246.
- Whittington, D., DT Lauria, AM Wright, K Choe, JA Hughes and V Swarna, 1993. Household Demand for Improvement Sanitation Services in Kumasi, Ghana : A Contingent Valuation Study. *Water Resources Research* 29 (6) : 1539-1560.
- Zohdy, AAR., GP Eaton and DR Mabey, 1980. *Application of Surface Geophysics to* Washington: United States Department of The Interior.