

**INVESTIGASI PENYEBARAN INTRUSI AIR LAUT
DI KOTA BENGKULU DENGAN METODE
GEOLISTRIK TAHANAN JENIS
Studi kasus : Daerah Kampung Cina, Sumur Melele dan Berkas**

Bayu Suhartanto, Andy Pramana, Wardoyo, M. Firman, Sumarno
Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Bengkulu, Bengkulu

ABSTRAK

Intrusi Air Laut merupakan suatu peristiwa menyusupnya air laut ke zona air tanah. Peristiwa ini menyebabkan air sumur pada daerah pesisir terasa asin atau payau, sehingga tidak dapat di konsumsi. Salah satu penyebab intrusi air laut adalah eksploitasi air tanah secara berlebihan. Daerah Kampung Cina, Sumur Melele dan Berkas merupakan daerah padat penduduk dengan jumlah penduduk 4883 jiwa. Diduga ketiga daerah tersebut telah banyak mengkonsumsi air tanah, sehingga akan diteliti bagaimanakah beadaan air tanah pada daerah tersebut dan bagaimanakah pola penyebaran serta kedalaman intrusi air laut pada daerah tersebut. Penelitian ini dilakukan dengan metode Geolistrik Tahanan Jenis. Metode ini dilakukan dengan menginjeksikan arus listrik kedalam bumi serta mencatat besarnya nilai beda potensial (ΔV) dan arus (I) yang terukur. Berdasarkan nilai beda potensial dan arus, maka dapat dihitung besarnya nilai tahanan jenis. Nilai tahanan jenis ini menggambarkan keadaan lapisan batuan yang berada di bawah permukaan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan kedalaman batas antara air asin dan air tawar menurut prinsip Badon-Ghyben-Hertsberg adalah 27,95 m sampai 35,06 m. Sedangkan hasil pencitraan dengan metode geolistrik tahanan jenis pada masing-masing lintasan pengukuran, dapat disimpulkan bahwa pada ketiga daerah tersebut telah terjadi intrusi air laut, yaitu pada kedalaman 4 m sampai 15 m.

Kata Kunci : Intrusi Air Laut, Metode Geolistrik

PENDAHULUAN

Intrusi air laut merupakan suatu peristiwa penyusupan atau meresapnya air laut atau air asin ke dalam air tanah. Kasus intrusi air laut merupakan masalah yang sering terjadi di daerah pesisir pantai. Masalah ini selalu terkait dengan kebutuhan air bersih, dimana air bersih merupakan air yang layak untuk dikonsumsi. Rusaknya air tanah pada daerah pesisir ditandai dengan keadaan air yang tidak bersih dan rasanya asin. (Djoko Sangkoro, 1979).

Kebutuhan air bersih akan terus meningkat. Peningkatan kebutuhan air bersih sebanding dengan bertambahnya jumlah penduduk dan berkembangnya suatu daerah. Semakin meningkatnya kebutuhan air bersih, maka eksploitasi air tanah akan semakin besar. Hal ini mengakibatkan persediaan air tanah semakin berkurang. Berkurangnya kandungan air tanah pada lapisan akuifer dapat mengakibatkan masuknya air laut (yang massanya lebih berat) ke dalam akuifer. (Sosrodarsono, 2003).

Eksploitasi air tanah yang dilakukan secara berlebihan (penggunaan sumur bor) khususnya pada daerah berpantai atau pesisir dapat menyebabkan suatu persoalan dimana air laut akan masuk dan terpenetrasi pada daerah pedalaman.

Air laut tersebut akan menyusup ke zona air tanah. Peristiwa ini disebut intrusi air laut atau menyusupnya air laut pada ke daratan (Sosrodarsono, 2003).

Daerah Kampung Cina, Sumur Melele dan Berkas merupakan daerah pesisir pantai yang terletak bersebelahan atau berdekatan dan padat penduduknya. Berdasarkan data yang diperoleh dari kelurahan, jumlah penduduk pada ketiga daerah tersebut adalah 4883 jiwa dengan jumlah Kepala Keluarga 1168. Daerah ini berupa kelurahan yang terletak di bagian barat kota Bengkulu. Pada zaman dahulu daerah ini merupakan pusat perekonomian dan sebagai bukti sejarahnya terdapat peninggalan berupa Benteng Malborough dan beberapa bangunan kuno lainnya. Tidak jauh dari pantai (± 500 m) terdapat rumah kediaman Gubernur dan Monumen berupa Tugu.

Berdasarkan survei lapangan yang telah dilakukan sebelumnya, pada daerah ini terdapat banyak bangunan yang merupakan fasilitas umum seperti gedung Perkantoran, Sekolah, Pasar, Ruko-ruko, Lembaga Pemasyarakatan (LP) dan beberapa industri rumah tangga. Ketiga kelurahan tersebut terletak pada wilayah pesisir barat kota Bengkulu.

Eksplorasi air tanah secara berlebihan dapat menyebabkan terjadinya intrusi air laut pada daerah tersebut. Jika hal ini terjadi, maka kondisi air pada daerah tersebut tidak layak untuk dikonsumsi, karena adanya rasa asin atau payau. Untuk mengetahui hal tersebut, maka akan dilakukan suatu penelitian atau survei geofisika menggunakan metoda geolistrik tahanan jenis. Sejauh ini belum pernah dilakukan suatu penelitian dengan metode geofisika mengenai penyebaran intrusi air laut pada daerah tersebut, sehingga penelitian ini sangat penting untuk segera dilakukan. Hal ini mengingat belum adanya data tentang kasus intrusi pada daerah tersebut. Data hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai data dasar mengenai intrusi air laut pada saat sekarang dan juga dapat digunakan sebagai acuan untuk melihat penyebaran atau peningkatan intrusi air laut pada tahun-tahun berikutnya.

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh citra bawah permukaan berdasarkan nilai tahanan jenis untuk setiap lapisan bawah permukaan, menentukan kedalaman intrusi air laut berdasarkan nilai tahanan jenis, dan menentukan batas kedalaman antara air tawar dengan air asin berdasarkan prinsip Badon Ghyben-Hersberg.

Penelitian ini dimaksudkan untuk menambah ilmu pengetahuan dan pengembangan ilmu fisika khususnya bidang Geofisika dan manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah Sebagai informasi mengenai kedalaman intrusi air laut pada daerah penelitian. Memberikan informasi kepada masyarakat agar dapat memanfaatkan air tanah secara efektif, efisien dan tidak berlebihan serta sebagai data awal untuk penelitian lebih lanjut mengenai intrusi air laut.

METODE PENDEKATAN

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Pebruari sampai dengan Juni tahun 2006 dengan lokasi penelitian/studi kasus di daerah Kampung Cina, Sumur Melele dan Berkas. Ketiga Kelurahan tersebut terletak di Kecamatan Teluk Segara Kota Bengkulu.

Telford (1990) mengemukakan bahwa metode geolistrik tahanan jenis merupakan salah satu metoda geofisika yang memanfaatkan sifat tahanan jenis batuan untuk menyelidiki keadaan dibawah permukaan bumi. Metoda ini dilakukan dengan menggunakan arus listrik yang diinjeksikan melalui dua buah

elektroda arus ke dalam bumi, kemudian mengamati beda potensial yang terbentuk melalui dua buah elektroda potensial yang berada di tempat lain.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kedalaman intrusi air laut, sehingga metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode geolistrik tahanan jenis. Metode ini sangat baik untuk mengukur resistivitas batuan. Selain itu, pada penelitian ini juga akan membandingkan keadaan intrusi air laut berdasarkan prinsip Badon Ghyben-Hersberg. Dengan demikian akan diperoleh suatu parameter pambanding mengenai intrusi air laut pada daerah penelitian.

Prinsip dasar yang digunakan pada alat ini adalah dengan menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi. Arus yang diinjeksikan akan merambat kesegala arah di dalam bumi. Kemudian mengamati beda potensial (ΔV) dan arus (I) yang terbentuk melalui dua buah elektroda yang berada di tempat lain. Perbedaan potensial dan arus menghasilkan suatu nilai tahanan jenis. Perbedaan nilai tahanan jenis dapat merefleksikan keadaan di bawah permukaan bumi.

Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah Resistivity Meter, alat ini digunakan untuk mengukur besarnya nilai tahanan jenis batuan. Elektroda arus dan elektroda potensial, alat ini digunakan untuk menginjeksikan arus ke dalam bumi dan menangkap nilai beda potensial (ΔV) dan arus (I) yang terbentuk. Aki 12 volt, alat ini sebagai sumber energi ketika menginjeksikan arus listrik. Kabel Penghubung, alat ini digunakan untuk menghubungkan elektroda dengan aki dan Resistivity Meter. Meteran, alat ini digunakan untuk mengukur lebar spasi elektroda dan panjang lintasan.

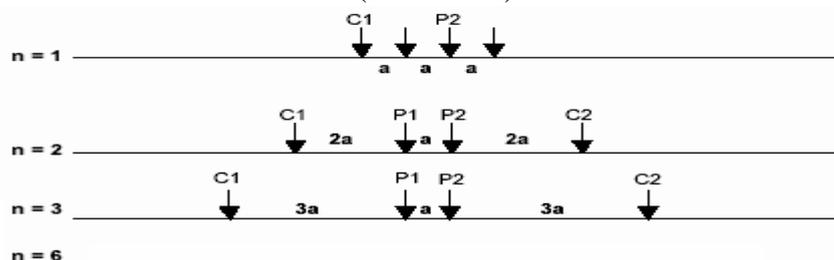
Secara keseluruhan kegiatan penelitian ini adalah sebagai berikut :

¾ Survei Lapangan

Tahap pertama merupakan survei awal, yaitu pemilihan lokasi penelitian. Pada tahap ini akan dicari lokasi untuk lintasan pengukuran yang berada tidak jauh dari bibir pantai.

¾ Teknik Pengambilan data

Tahap ini merupakan tahap pengambilan data. Setelah mendapatkan lokasi pengukuran, maka akan dilakukan pengukuran untuk masing-masing lintasan. Pada penelitian ini akan diteliti mengenai kedalaman intrusi air laut pada suatu tempat, sehingga konfigurasi elektroda yang digunakan adalah konfigurasi Wenner-Schlumberger dengan faktor geometri $K = \pi.n(n+1)a$. Dengan konfigurasi ini akan diketahui gambaran lapisan bawah permukaan secara vertikal dan horizontal. (Loke 1999).



Gambar 1. Pemasangan konfigurasi elektroda. (Loke, 1999)

Adapun langkah pengambilan data geolistrik tahanan jenis adalah sebagai berikut :

- a. Menentukan lintasan pengukuran.
- b. Membuat lebar spasi elektroda (a).

- c. Pemasangan elektroda berdasarkan konfigurasi yang digunakan, yaitu konfigurasi Wenner-Schlumberger.
- d. Penginjeksian arus ke dalam bumi dan mencatat besarnya nilai beda potensial (ΔV) dan arus (I).

Selanjutnya adalah pengambilan data untuk prinsip Badon Ghyben-Hersberg. Adapun langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Mengukur kedalaman beberapa sumur di sekitar lokasi penelitian serta mengukur ketinggiannya dari permukaan air laut. Dengan metode ini akan diperoleh besarnya nilai h.
- b. Mengambil sampel air sumur yang berada di sekitar lintasan pengukuran untuk dihitung massa jenisnya. Dengan demikian akan diperoleh nilai ρ_0 .
- c. Mengambil sampel air laut untuk dihitung massa jenisnya, sehingga diperoleh nilai ρ .

¾ Teknik Pengolahan data

Tahap ketiga merupakan tahap perhitungan atau pengolahan data. Data beda potensial (ΔV) dan arus (I) yang diperoleh berdasarkan pengukuran akan dihitung sehingga diperoleh nilai tahanan jenis semu (ρ_a). Menurut Telford (1990) dan Reynolds (1997) tahanan jenis semu dapat dihitung berdasarkan rumus :

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \dots\dots\dots(1)$$

- dimana :
- ρ_a = tahanan jenis semu
 - K = faktor geometri
 - ΔV = beda potensial antara kedua elektroda
 - I = kuat arus yang diinjeksikan

Besarnya nilai tahanan jenis semu (ρ_a) akan dikelompokkan sesuai dengan kedalaman lapisan (n). Kemudian data-data yang telah tersusun diolah dengan menggunakan software Res2dinv Ver 3.48a. Sehingga diperoleh gambaran atau citra mengenai keadaan bawah permukaan berdasarkan perbedaan nilai tahanan jenis.

¾ Interpretasi

Setelah proses pengambilan dan pengolahan data selesai, maka hal selanjutnya adalah melakukan interpretasi mengenai pencitraan bawah permukaan yang berupa gambaran warna yang dihasilkan oleh software Res2dinv Ver. 3.48a. Dengan membaca panduan atau literature pada software tersebut, maka akan diketahui kedalaman intrusi air laut pada daerah tersebut.

Menurut Sri Harto (1993), kedalaman perbatasan antara air tawar dan air asin yang terjadi pada masing-masing daerah penelitian dapat dihitung berdasarkan prinsip Badon Ghyben-Hersberg, dengan rumus :

$$\rho H = \rho_0 (H + h)$$

$$H = \frac{\rho_0}{\rho - \rho_0} h \dots\dots\dots(2)$$

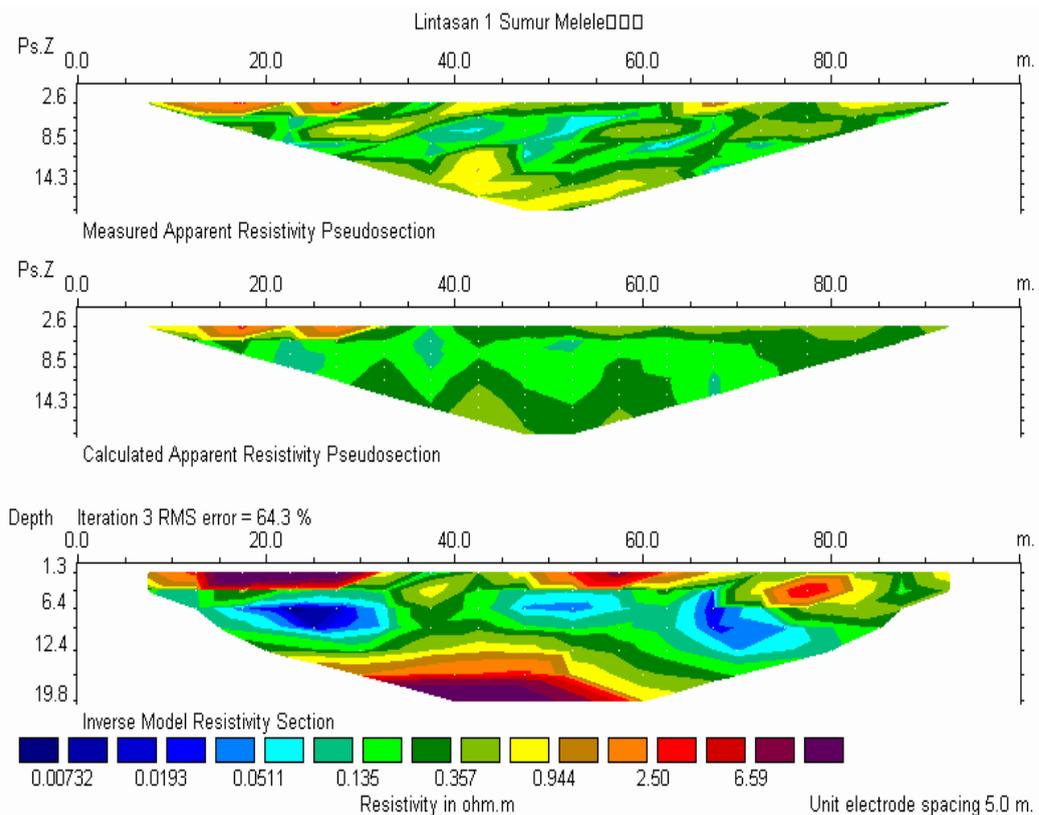
- dimana :
- ρ_0 = massa jenis air tawar (pada sumur)
 - ρ = massa jenis air laut
 - h = tinggi muka air tanah dari permukaan air laut
 - H = kedalaman air tanah (perbatasan) dari permukaan air laut

Dengan demikian akan diperoleh suatu parameter apakah daerah tersebut telah terjadi intrusi air laut atau belum. Apabila kedalaman air tanah yang telah terkontaminasi oleh air laut (berdasarkan pencitraan) lebih kecil dari nilai H (berdasarkan prinsip Badon Ghyben-Hersberg), maka dapat dikatakan bahwa daerah tersebut telah mengalami intrusi air laut. Demikian juga sebaliknya, jika kedalaman air tanah yang telah terkontaminasi oleh air laut lebih besar dari nilai H, maka dapat dikatakan bahwa daerah tersebut belum mengalami intrusi air laut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

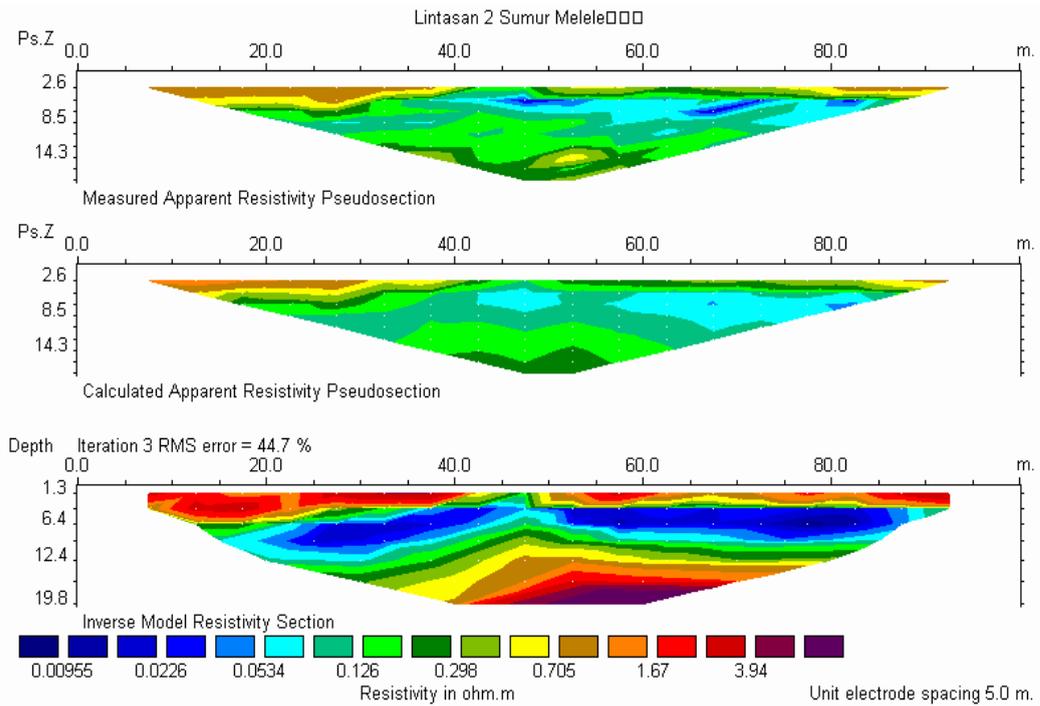
Setelah dilakukan penelitian yang meliputi beberapa tahapan, maka dihasilkan suatu gambaran atau pencitraan bawah permukaan secara 2 dimensi mengenai nilai tahanan jenis batuan. Berdasarkan nilai tahanan jenis batuan, maka dapat diketahui kedalaman intrusi air laut dari setiap masing-masing lintasan pengukuran. Adapun hasil penelitian pada daerah Sumur Melele adalah sebagai berikut :

a. Lintasan 1



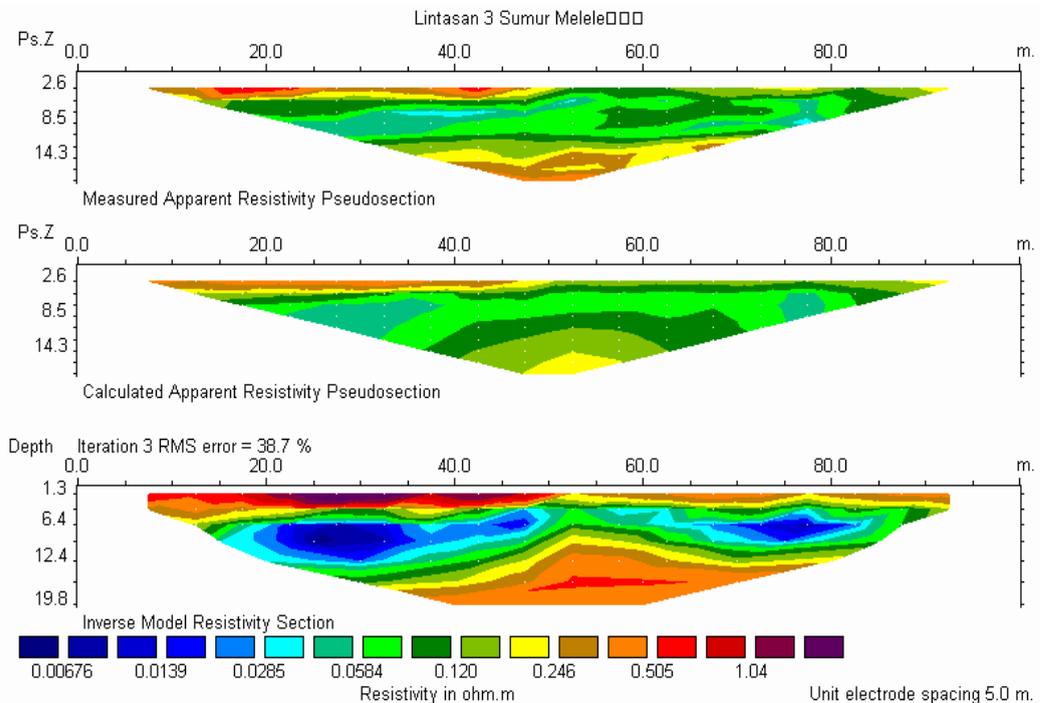
Gambar 2. Pencitraan 2-D tahanan jenis bawah permukaan lintasan 1 Sumur Melele

b. Lintasan 2



Gambar 3. Pencitraan 2-D tahanan jenis bawah permukaan lintasan 2 Sumur Melele

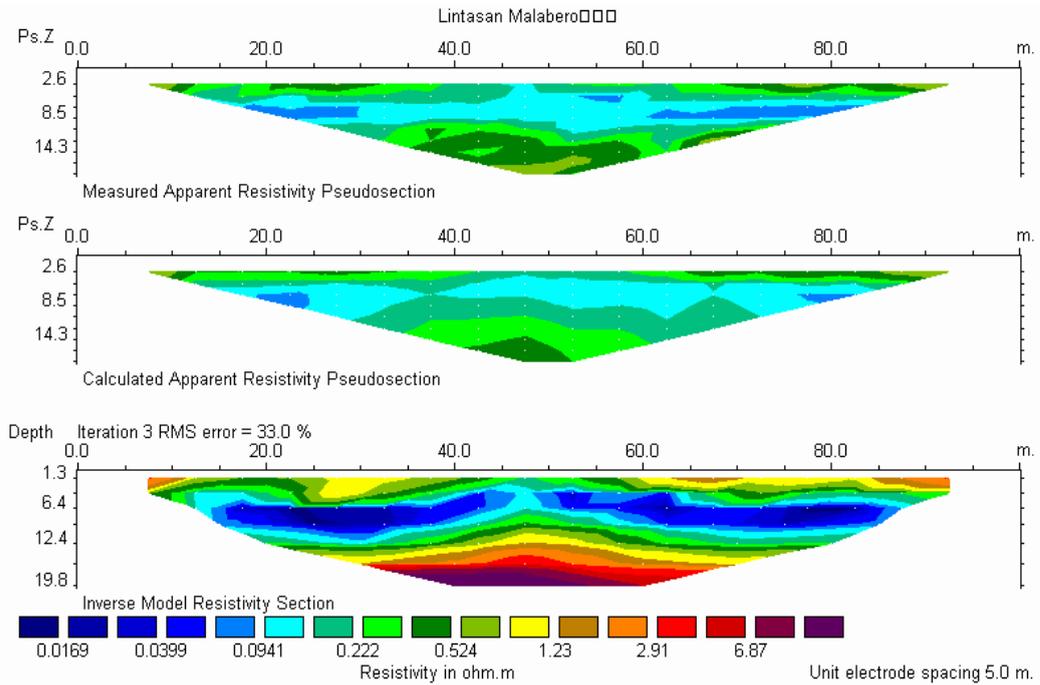
c. Lintasan 3



Gambar 4. Pencitraan 2-D tahanan jenis bawah permukaan lintasan 3 Sumur Melele

Adapun hasil penelitian pada daerah Kampung Cina adalah sebagai berikut :

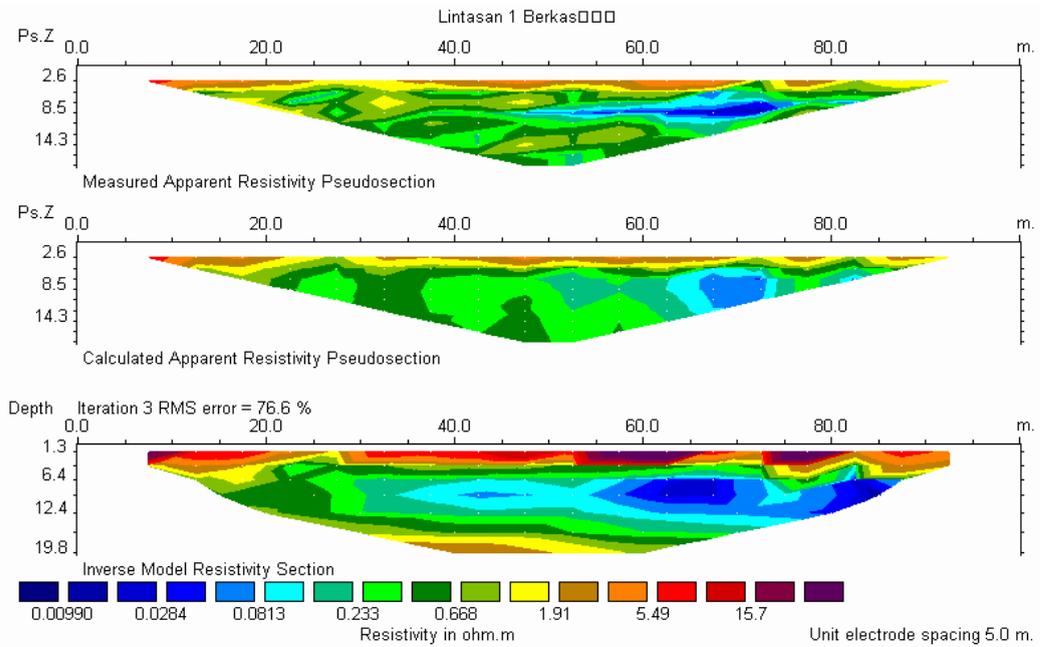
a. Lintasan 1



Gambar 5. Pencitraan 2-D tahanan jenis bawah permukaan lintasan 1 Kampung Cina

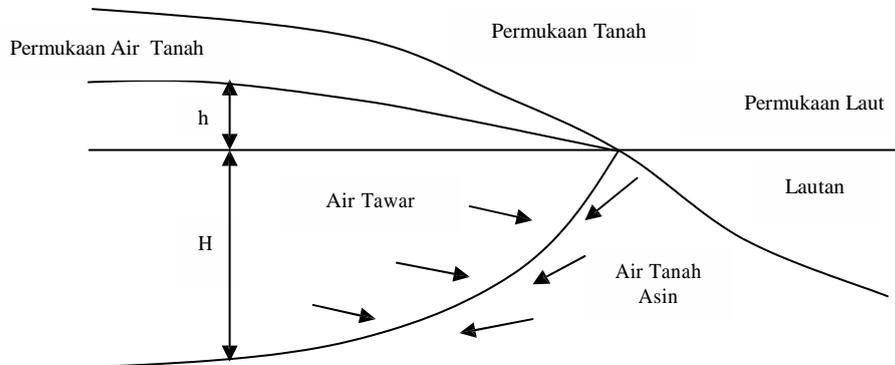
Adapun hasil penelitian pada daerah Berkas adalah sebagai berikut :

a. Lintasan 1



Gambar 6. Pencitraan 2-D tahanan jenis bawah permukaan lintasan 1 Berkas

Perhitungan batas antara air tawar dan air laut berdasarkan prinsip Badon Ghyben-Hersberg. Batas yang dimaksud dapat dilihat pada gambar 7. Data-data yang diperlukan untuk menentukan batas tersebut adalah massa jenis air laut (ρ), massa jenis air tawar (ρ_0) dan ketinggian muka air tanah dari permukaan air laut (h).



Gambar 7. Suatu keseimbangan alamiah antara air tawar dan air laut menurut prinsip Badon Ghyben-Hersberg. (Djoko Sangkoro, 1979)

Massa jenis air tawar (ρ_0) diperoleh dari air sumur yang belum terkontaminasi oleh air asin, sehingga massa jenis air tawar nilainya dianggap 1000 kg/m^3 . Sedangkan massa jenis air laut dihitung dengan mengambil sampel dari perairan pantai. Adapun data hasil pengukuran massa jenis air laut tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Massa jenis air laut di lokasi penelitian

m air laut (gr)	V air (ml)	Rho (gr/cm ³)
203.77	200	1.01885
203.73	200	1.01865
202.77	200	1.01385
202.82	200	1.0141
202.93	200	1.01465
202.67	200	1.01335
202.29	200	1.01145
202.23	200	1.01115
202.49	200	1.01245
204.54	200	1.0227
Rata-rata		1.01512

Sehingga massa jenis air laut (ρ) di peroleh sebesar 1.01512 gr/cm^3 atau 1015.12 kg/m^3 .

Kedalaman air tanah (perbatasan) dari permukaan air laut (H), diperoleh berdasarkan persamaan (2). Posisi ketinggian air tanah dari permukaan air laut (h) merupakan selisih antara ketinggian lokasi penelitian terhadap kedalaman sumur. Sumur-sumur yang diamati berada pada jarak 100 m sampai 150 m dari garis pantai. Hasil pengukuran beberapa variabel tersebut dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Kedalaman air tanah (perbatasan) dari permukaan air laut (H)

Lintasan pengukuran	Posisi Ketinggian (m)	Kedalaman Sumur (m)	h (m)	ρ (kg/m ³)	ρ_0 (kg/m ³)	H (m)
1	1.5	1.1	0.4	1015.12	1000	26.455
2	1.2	0.75	0.45	1015.12	1000	29.761
3	1.2	0.8	0.4	1015.12	1000	26.455
4	2	1.5	0.5	1015.12	1000	33.068
5	1.2	0.75	0.45	1015.12	1000	29.762

Secara alamiah kedalaman perbatasan air tawar dan air asin dapat dihitung dengan menjumlahkan besarnya nilai H dan posisi ketinggian. Sehingga diperoleh kedalaman air asin dari permukaan tanah. Adapun kedalaman air asin tersebut ditunjukkan oleh tabel 3.

Tabel 3. Kedalaman air asin dari permukaan tanah

Lintasan pengukuran	Posisi Ketinggian (m)	H (m)	Kedalaman dari permukaan tanah (m)
1	1.5	26.45502646	27.95502646
2	1.2	29.76190476	30.96190476
3	1.2	26.45502646	27.65502646
4	2	33.06878307	35.06878307
5	1.2	29.76190476	30.96190476

Berdasarkan gambar pencitraan bawah permukaan, dapat diketahui kedalaman intrusi air laut pada masing-masing lintasan pengukuran. Menurut Loke (1999), nilai tahanan jenis untuk batuan atau lapisan tanah yang telah mengalami intrusi air laut sebesar 0.02 Ω m. Nilai inilah yang digunakan untuk memperkirakan kedalaman intrusi air laut yang telah terjadi dalam suatu lapisan batuan/tanah. Lintasan pengukuran pada metode ini berada pada jarak 100 m sampai 150 m dari garis pantai.

Hasil pencitraan pada lintasan yang berada di daerah Sumur Melele, menunjukkan bahwa intrusi air laut terjadi pada kedalaman 4 m sampai 15 m dari permukaan tanah. Intrusi ini diduga karena eksploitasi air tanah secara berlebihan pada daerah tersebut. Hal ini mengingat pada daerah tersebut terdapat bangunan perkantoran seperti PLN serta gedung sekolahan, yaitu TK, SD dan SMP Sint Carolus. Selain itu pada daerah ini juga terdapat banyak perumahan yang mengurangi daerah resapan air tanah. Dengan demikian, jumlah air tanah yang tereksploitasi melebihi jumlah masuknya/meresapnya air ke dalam tanah.

Pencitraan bawah permukaan di daerah Kampung Cina (gambar 5) menunjukkan adanya intrusi air laut pada kedalaman 4 m sampai 12 m. Lintasan pengukuran ini berada disamping Lembaga Pemasyarakatan (LP). Selain itu terdapat juga perkantoran dinas Kimpraswil dan gedung SD. Bangunan fasilitas umum ini terletak sejajar dan berdekatan. Dengan demikian diperkirakan telah terjadi eksploitasi air tanah secara berlebihan.

Kedalaman intrusi air laut pada daerah Berkas berada pada 5 m sampai 15 m dibawah permukaan tanah. Intrusi ini terjadi diduga akibat eksploitasi air tanah yang tidak seimbang dengan masuknya/meresapnya air hujan kedalam tanah.

Hasil perhitungan berdasarkan prinsip Badon Ghyben-Hersberg dibandingkan dengan kedalaman intrusi air laut berdasarkan pencitraan bawah permukaan. Hal ini seperti yang ditunjukkan oleh tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan kedalaman batas antara air tawar dengan air asin berdasarkan prinsip Badon Ghyben-Hersberg dan pencitraan bawah permukaan.

Lintasan	Kedalaman berdasarkan prinsip Badon Ghyben_Hersberg (m)	Kedalaman berdasarkan Pencitraan bawah permukaan (m)
1	27.95502646	4 – 15
2	30.96190476	4 – 15
3	27.65502646	4 – 15
4	35.06878307	4 – 12
5	30.96190476	4 – 15

Prinsip Badon Ghyben-Hersberg menjelaskan kedalaman air laut secara alamiah yang berada di sepanjang garis pantai, sedangkan pencitraan bawah permukaan menunjukkan adanya air asin pada kedalaman tertentu. Dari hasil perbandingan tersebut dapat dilihat bahwa kedalaman perbatasan antara air tawar dan air asin berdasarkan prinsip Badon Ghyben-Hersberg lebih besar dari kedalaman berdasarkan pencitraan. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa daerah Kampung Cina, Sumur Melele dan Berkas telah terjadi Intrusi Air Laut.

KESIMPULAN

- Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:
- Daerah Sumur Melele dan Berkas telah mengalami intrusi air laut pada kedalaman 4 m sampai 15 m. Daerah Kampung Cina juga telah mengalami intrusi air laut dengan kedalaman 4 m sampai 12 m. Lintasan pengukuran ini berada pada jarak 100 m sampai 150 m dari garis pantai.
 - Kedalaman perbatasan antara air tawar dan air asin pada ketiga daerah tersebut menurut prinsip Badon Ghyben-Hersberg diperkirakan antara 27,95 m sampai 35,06 m di bawah permukaan tanah pada jarak 100 m sampai 150 m dari garis pantai.

DAFTAR PUSTAKA

- Harto, Sri Br. 1993. *Analisis Hidrologi*. Jakarta. PT Gramedia Pustaka Utama.
- Loke, M.H., 1999. *Res2Dinv ver 3.3 for windows 3.1, 95 and NT: Rapid 2D resistivity and IP inversion using the least-squares method*, Penang Malaysia.
- Raynold, J.M, 1997. *Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Willey and Soon Ltd.
- Sangkoro, Djoko. 1979. *Teknik Sumber Daya Air*. Jakarta. Erlangga.
- Sosrodarsono, S dan Takeda, S. 2003. *Hidrologi Untuk Perairan*. PT. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Taib, M.I.T. 1999. *Dasar Metoda Eksplorasi Tahanan Jenis Galvanik : Diklat Kuliah Metoda Geolistrik*. Bandung. ITB.
- Telford, W.M. 1990. *Applied Geophysics : Second Edition*. Cambridge: Cambridge University Press.

