

Penentuan Kedalaman *Interface* pada Bentuklahan Lereng Gunungapi Bawah dan Bentuklahan Dataran Aluvial Kepesisiran di Pulau Ternate

Ramdani Salam^{a*}, Sunarto^b, Langgeng Wahyu Santosa^b

^aProdi Geografi, FKIP Universitas Khairun Ternate

^bFakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada

*Email : danipalopo72@gmail.com

(Diterima 14 April 2018; Disetujui 21 Mei 2018; Dipublikasikan 31 Mei 2018)

Abstrak

Telah dilakukan pengukuran *interface* menggunakan metode geolistrik 2D di wilayah pesisir Pulau Ternate. Penelitian ini dimaksudkan untuk menentukan keadaan *interface* dengan mengajukan asumsi sederhana yang berdasar pada prinsip trigonometri dasar. Pengukuran dilakukan di bagian barat sampai barat daya pada bentuklahan lereng gunungapi bawah dan bentuklahan dataran aluvial kepeesisiran. Hasil pengukuran geolistrik pada keseluruhan lintasan menunjukkan, ketebalan air tawar pada bentuklahan lereng gunungapi bawah berkisar 7 - 13 m dengan nilai resistivitas antara 25,9 - 100 Ωm. Ketebalan air tawar pada bentuklahan dataran aluvial kepeesisiran antara 15 m hingga kurang dari 20 m dengan nilai resistivitas antara 30 - 109 Ωm. Kedalaman *interface* pada bentuklahan lereng gunungapi bawah sekitar 13 m dari permukaan dengan kemiringan 77°, sedang kedalaman *interface* pada bentuklahan dataran aluvial kepeesisiran sekitar 20 m dari permukaan dengan kemiringan 81°. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa ketebalan air tawar di daerah pesisir bagian barat sampai baratnya pada bentuklahan lereng gunungapi bawah lebih tipis dibandingkan dengan daerah pesisir bagian timur hingga tenggara pada bentuklahan dataran aluvial kepeesisiran.

Kata kunci: *interface*, geolistrik, lereng gunungapi bawah, dataran aluvial kepeesisiran

1. Latar Belakang

Ghyben (1889) dan Herzberg (1901), menjelaskan secara matematis empiris dinamika hubungan antara air tawar dengan air asin. Dengan menggunakan prinsip hidrostatik, persamaan matematis untuk menghitung kedalaman *interface* dari permukaan *piezometrik* adalah [1],[2]:

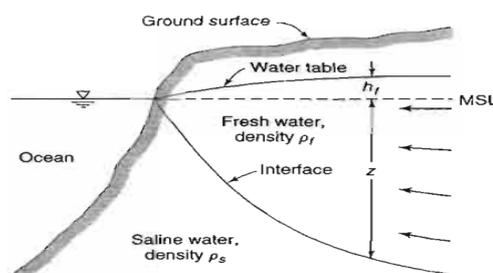
$$z = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h_f \quad (1)$$

dengan h_f adalah elevasi muka air tawar di atas muka air asin, z adalah kedalaman *interface* dari muka air asin, ρ_s adalah densitas air asin (1,025 g/cm³) dan ρ_f adalah densitas air tawar (1 g/cm³). Dengan mensubstitusikan nilai densitas air tawar dan air asin ke dalam persamaan (1), maka diperoleh hubungan perbandingan seperti:

$$z = 40 h_f \quad (2)$$

Persamaan (2), dapat digunakan untuk mengestimasi kedalaman *interface* air tawar dan air asin (z) jika diketahui nilai elevasi muka air tawar di atas muka air asin (h_f). Dengan demikian persamaan (1) dan (2) hanya akan berlaku jika elevasi muka air tawar (*piezometric*) berada di atas

permukaan air asin dengan posisi miring ke arah laut.



Gambar 1. Hubungan air tawar (fresh water) dengan air asin (saline water) [2]

Ketersediaan air tawar di kawasan pesisir mengakibatkan terjadinya eksplotasi air tawar yang berlebihan. Akibatnya terjadi intrusi air asin di wilayah pesisir [3-7]. Intrusi air asin akibat eksploitasi air tawar di wilayah pesisir untuk pulau kecil lebih rentan lagi dibandingkan pulau besar [8].

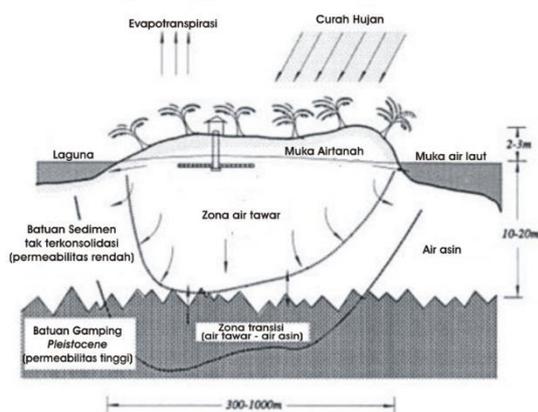
Dinamika hubungan air tawar dengan air asin juga dianalisis dengan pemodelan numerik bidang *interface* [5,9,10] dan penerapan metode geolistrik juga dilakukan untuk menggambarkan kedudukan *interface* [11].

Keterdapatannya air tawar di suatu pulau kecil, ditentukan oleh beberapa faktor seperti curah hujan, rendahnya *surface runoff* (larian permukaan), kondisi geologi, vegetasi dan luas pulau tersebut. Hehanussa (1993, dalam Hadi dkk., 2005) menambahkan:

“...pada pulau yang sangat kecil, berukuran kurang dari 100 km² tubuh air tawar yang ada sangatlah bergantung pada curah hujan, ketebalan tanah pelapukan, dan jenis vegetasi yang menempatinnya...” [12]

Kutipan di atas berlaku umum untuk semua jenis pulau kecil, karena faktor-faktor tersebut di atas secara fisik dan alami menjadi penyebab tersimpannya air di suatu pulau kecil. Akan tetapi, secara fisiografi jenis pulau menyebabkan cara menyimpan air bawah pulau akan berbeda.

Falkland (1999), menggambarkan karakter air tawar untuk suatu pulau kecil seperti dalam Gambar 2, terlihat lensa air tawar menggantung dan dikelilingi air asin disekitarnya [13].



Gambar 2. Penyebaran air tawar di sebuah pulau koral kecil [13]

Pulau Ternate merupakan salah satu pulau gunungapi yang berada dalam jalur subduksi (*subduction zone*) di bagian utara kepulauan Maluku. Teori lempeng tektonik menggambarkan bermunculannya jejeran gunungapi di zona ini, baik itu di dataran luas, atau membentuk pulau tersendiri. Hamilton (1979), memberikan gambaran tektonik Maluku Utara:

“The northern Moluccas – the Indonesian islands of Halmahera, Obi, Waigeo and their neighbours – occupy a particularly chaotic tectonic setting. Their region is bounded on the south by the strands of the Sorong fault system trending westward from New Guinea to Sulawesi. On west

by the northern Molucca Sea; on the northeast by the south end of the Philippine trench...” [14]

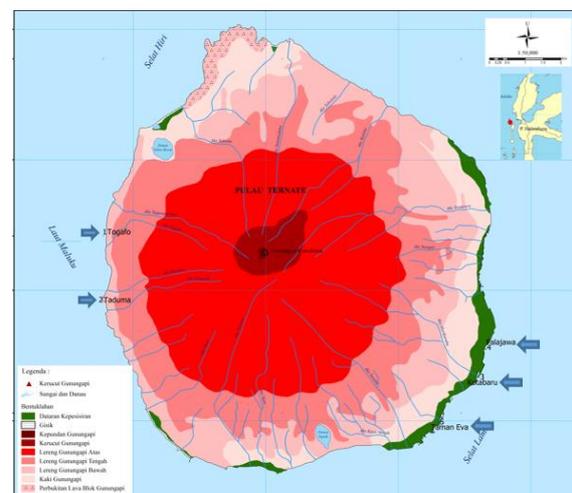
Pulau Ternate yang berada di sebelah barat Halmahera, termasuk dalam sistem tektonik Halmahera yang sangat kompleks dan rumit. Gunung Gamalama sebagai gunungapi yang terletak di tengah Pulau Ternate, secara geomorfologi, terdiri atas endapan-endapan hasil periodisasi erupsi sejak masa kuartar.

Setiap kali terjadi erupsi, maka produk erupsi gunungapi berupa material piroklastik, bom, lahar dan lain sebagainya, akan membentuk endapan sedimen baru di tubuh gunungapi atau di bagian terendah (daerah aluvial). Endapan-endapan inilah yang membentuk sistem air tawar suatu pulau gunungapi. Airtanah pulau gunungapi umumnya berada di daerah aluvial pesisir pulau, sehingga kontak antara air tawar dan air asin (*interface*) pada pesisir pulau tak bisa dihindari. Tidak semua wilayah kepesisiran pulau gunungapi merupakan daerah aluvial. Beberapa bagian pulau gunungapi bisa saja menjadi daerah pengendapan lava beku dan bersentuhan langsung dengan laut.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka penelitian ini bertujuan untuk menentukan keberadaan bidang kontak (*interface*) antara air tawar dan air asin pada bentuklahan lereng gunungapi bawah di bagian barat sampai baratdaya dan bentuklahan dataran aluvial kepesisiran di bagian timur hingga tenggara Pulau Ternate.

2. Metodologi

a. Waktu dan Lokasi

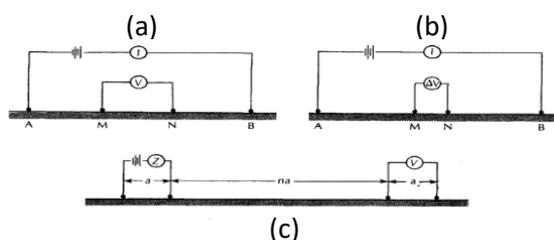


Gambar 3. Lokasi pengukuran

Pengukuran geolistrik dilakukan selama dua minggu, dengan lokasi penelitian terletak di pesisir Pulau Ternate bagian barat sampai baratdaya pada bentuklahan lereng gunungapi bawah dan bagian timur sampai tenggara pada bentuklahan dataran kepeesisiran. Pada bentuklahan lereng gunungapi bawah ada dua lintasan pengukuran, dan pada bentuklahan dataran aluvial kepeesisiran ada tiga lintasan. Lokasi pengukuran ditunjukkan pada Gambar 3.

b. Pengukuran Geolistrik

Pada penelitian ini, digunakan metode geolistrik 2D dengan konfigurasi *Wenner Schlumberger* yang merupakan gabungan dari metoda mapping dan sounding yang akan menghasilkan penampang resistivitas pada arah mendatar maupun vertikal (penampang 2D). Konfigurasi elektroda yang dapat digunakan pada metoda 2D diantaranya konfigurasi *Wenner* (alpha, betha dan gamma), *dipole-dipole*, *pole-dipole*, *bipole-dipole*, *pole-pole*, *Schlumberger* dan *Wenner Schlumberger*. Mekanisme pengambilan data dalam geolistrik tahanan jenis (*resistivity*), menggunakan 4 *stick* elektroda yang ditancapkan ke permukaan Bumi. Dua elektroda terluar (A dan B atau C1 dan C2) merupakan elektroda arus yang diinjeksikan ke dalam Bumi dan dua elektroda lainnya adalah elektroda tegangan (M dan N atau P1 dan P2), terlihat pada Gambar 4. Berdasarkan letak geometri dan jarak antara elektroda, dikenal beberapa konfigurasi (*array*) dalam pengambilan data geolistrik.



Gambar 4. Konfigurasi elektroda: (a) Wenner Array, (b) Schlumberger Array (c) Dipole-dipole Array[1]

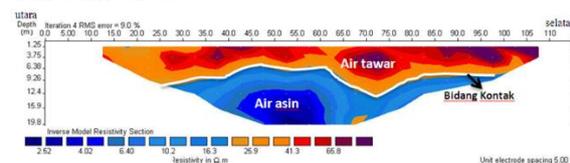
Konfigurasi Wenner relatif sensitif terhadap perubahan vertikal dan kurang sensitif terhadap perubahan horizontal dari *resistivity* di bawah permukaan. Umumnya, konfigurasi ini baik untuk perubahan vertikal (struktur horizontal), tetapi relatif kurang baik untuk mendeteksi perubahan horizontal (struktur vertikal) [15].

Pengolahan data resistivitas dua dimensi (2D) cukup panjang dan rumit, sehingga diperlukan

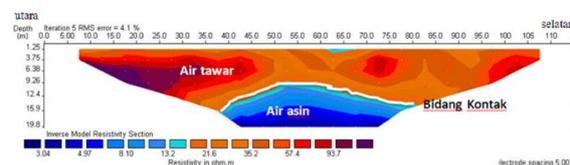
bantuan program komputer, misalnya RES2DINV. RES2DINV adalah program komputer yang secara otomatis menentukan model resistivitas 2D untuk bawah permukaan dari data hasil pengukuran geolistrik [16]. Program ini menggunakan *optimasi least-squares non-linier* dan didukung dengan teknik *forward modelling finite difference* dan *finite-element*.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil Pengukuran geolistrik 2D dekat garis pantai dilakukan untuk mendapat informasi kedalaman *interface* air tawar dan air asin, dengan membuat jarak antara kabel terhadap garis pantai adalah 3 m. Dengan jarak ini, muka air tawar dianggap masih sejajar dengan muka air asin. Pengukuran geolistrik 2D pesisir pantai dilakukan di lima lintasan dalam wilayah penelitian, yaitu dua lintasan pada bentuklahan lereng gunungapi bawah di Taduma dan Togafo, ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



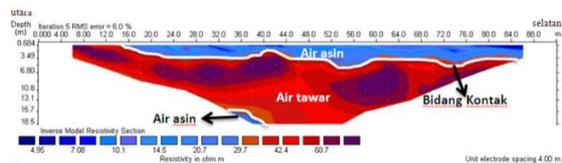
Gambar 5. Hasil pengukuran geolistrik di Pesisir Taduma



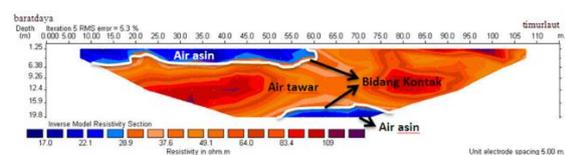
Gambar 6. Hasil pengukuran geolistrik di Pesisir Togafo

Pengukuran di Pesisir Taduma (lihat Gambar No.5) yang berorientasi pada arah bentangan: utara - selatan. Hasil pengukuran geolistrik di Pesisir Taduma menunjukkan lapisan air tawar (nilai resistivitas antara 25,9 – 100 Ωm) memiliki ketebalan yang bervariasi antara 7m – 13m. Jika diambil kedalaman tertinggi, air tawar pada kedalaman sekitar 13 m. Terlihat juga *zona interface* pada kedalaman sekitar 10 - 19 m pada (nilai resistivitas antara 2,45 – 15 Ωm). Pengukuran di Pesisir Togafo berorientasi pada arah bentangan: utara – selatan. Hasil pengukuran geolistrik di Pesisir Togafo menunjukkan lapisan air tawar (nilai resistivitas antara 21,6 – 100Ωm) pada ketebalan sekitar 10m - 13m. *Zona interface* (nilai resistivitas antara 3,04 – 13 Ωm) pada kedalaman antara 13 – 19,5 m.

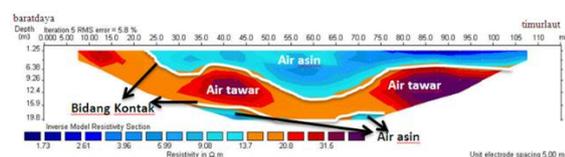
Pengukuran geolistrik 2D pesisir pantai dilakukan di tiga lintasan pada bentuklahan dataran aluvial kepepesisiran di Falajawa, Kota Baru, dan Taman Eva, ditunjukkan pada Gambar 7, Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 7. Hasil pengukuran geolistrik di Pesisir Falajawa



Gambar 8. Hasil pengukuran geolistrik di Pesisir Kota Baru



Gambar 9. Hasil pengukuran geolistrik di Pesisir Taman Eva

Pengukuran di Pesisir Falajawa berorientasi pada arah bentangan: utara - selatan. Pengukuran geolistrik di Pesisir Falajawa ini terlihat adanya sedikit lapisan air asin di bagian atas. Hasil pengukuran geolistrik di lokasi ini menunjukkan lapisan air tawar (nilai resistivitas antara 30 – 80 Ωm) dengan ketebalan 15 m hingga kedalaman lebih dari 20 m. *Zona interface* terlihat pada kedalaman 19 m (nilai resistivitas mulai 4 Ωm).

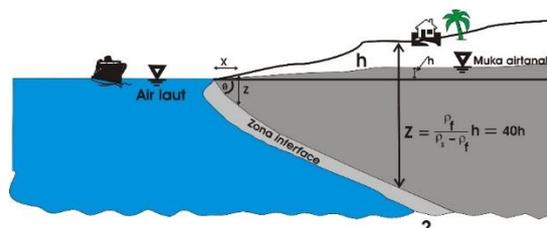
Pengukuran di pesisir Kota Baru berorientasi pada arah bentangan: baratdaya - timurlaut. Pengukuran geolistrik di lintasan ini terlihat adanya sedikit lapisan air asin dibagian atas. Hasil pengukuran geolistrik di Pesisir Kota Baru menunjukkan lapisan air tawar (nilai resistivitas antara 30 – 109 Ωm) dengan ketebalan 16 m hingga kedalaman lebih dari 20 m. *Zona interface* terlihat pada kedalaman 19 m (nilai resistivitas mulai 17 Ωm).

Pengukuran di Pesisir Taman Eva berorientasi pada arah bentangan: baratdaya – timurlaut. Pengukuran geolistrik di lintasan ini terlihat adanya sedikit lapisan air asin di bagian atas hingga 9 m. Hasil pengukuran geolistrik menunjukkan lapisan air tawar (nilai resistivitas antara 20,8 – 45 Ωm) dengan ketebalan 16 m hingga kedalaman

lebih dari 20m. *Zona interface* terlihat pada kedalaman 19,5 m (nilai resistivitas mulai 9 Ωm).

Dinamika *interface* air tawar dengan air asin didasarkan pada kondisi fisik wilayah pesisir (geomorfologi dan geologi pesisir) ataukah dengan prinsip hidrostatik yang disajikan secara empiris matematis. Badon Ghyben (1889) dan Herzberg (1901) mengusulkan formula matematis berdasar prinsip hidrostatik, untuk menghitung kedalaman *interface* seperti pada Persamaan (1). Rumus Ghyben-Herzberg ini akan berlaku jika elevasi muka air tawar (*piezometric*) terdapat di atas permukaan air asin dengan posisi miring ke arah laut.

Situasi hubungan antara air tawar pesisir pantai dengan air asin diilustrasikan seperti terlihat dalam Gambar 10.



Gambar 10. Sketsa geometris hubungan air tawar dengan air asin dalam menentukan besar sudut kontak[17]

Situasi seperti disajikan dalam Gambar 10, dengan *h* adalah elevasi muka air tawar di atas muka air asin, *Z* adalah kedalaman *interface* dari muka air asin, ρ_s adalah densitas air asin (1,025 g/cm³) dan ρ_f adalah densitas air tawar (1 g/cm³). Jarak *X* dan *Z* beserta sudut kontak (θ), terlihat membentuk suatu segitiga. Untuk dapat menghitung besar kecilnya sudut kontak (θ), perlu dibangun asumsi dasar seperti:

- Pengukuran kedalaman *interface* air tawar dan air asin dilakukan pada lokasi tidak jauh dari garis pantai, sehingga nilai *h* dianggap sangat kecil ($h \ll Z$).
- Karena jarak pengukuran dari garis pantai (*x*) tidak jauh, maka muka air tawar dianggap masih sejajar dengan muka air asin (terletak dalam satu garis lurus).

Asumsi dasar yang dibangun sebelum menghitung besar sudut kontak (θ), akan sejalan dengan prinsip trigonometri. Besar kecil sudut dalam suatu segitiga ditentukan oleh panjang dan pendeknya sumbu absis (*x*) dan ordinat (*y*). Pada

Gambar 10 di atas, kedalaman *interface* air tawar dan air asin merupakan sumbu ordinat (Z), dan jarak pengukuran dari garis pantai (X) merupakan sumbu absis. Besar sudut kontak (θ , dalam derajat) antara bidang *interface* dengan garis *mean sea level*, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\theta = \text{arc tg} \left[\frac{Z}{X} \right] \quad (3)$$

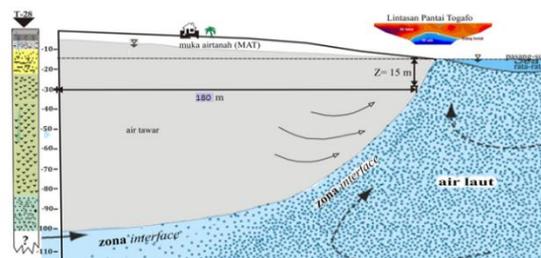
Dalam membuktikan teori Ghyben-Herzberg dan membenarkan asumsi penulis di atas, pengukuran kedalaman *interface* air tawar - air asin dan perhitungan sudut kontak dari hasil pengukuran geolistrik secara keseluruhan pada lima lintasan dalam wilayah penelitian disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Lokasi dan kedalaman interface

| No | Lokasi berdasar Bentuk lahan | Ketebalan air tawar (m) | Kedalaman interface (m) | Sudut kontak interface (θ) |
|------------------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| Lereng gunungapi bawah | | | | |
| 1 | Togafo | 10 s.d. 13 | 13 | 77 |
| 2 | Taduma | 7 s.d. 13 | 10 | 73 |
| Dataran aluvial kepeesisiran | | | | |
| 3 | Kota Baru | 16 s.d. >20 | 19 | 81 |
| 4 | Falajawa | 15 s.d. >20 | 10 | 81 |
| 5 | Taman Eva | 16 s.d. >20 | 20 | 81,5 |

Untuk memperjelas gambaran akan situasi kelengkungan *zona interface* diambil contoh hasil pengukuran geolistrik 1D dan lintasan pengukuran geolistrik 2D di dua lokasi. Informasi bawah permukaan dari hasil pengukuran ini kemudian dijadikan dasar untuk membuat sketsa atau gambaran hubungan hidrostatik antara air tawar dengan air asin.

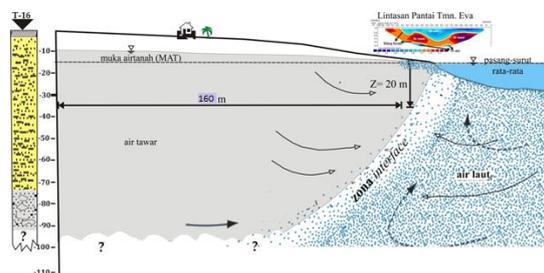
Pada lokasi no.1 terdapat lintasan pengukuran geolistrik 2D dekat garis pantai Togafo dan titik duga T-28 (Sumber Data: Badan Geologi Lingkungan Bandung, 2009), yang terpisah jarak 180 m. Jarak yang sangat dekat ini dikarenakan bagian barat Pulau Ternate yang didominasi oleh bentuklahan lereng gunungapi bawah yang langsung bertemu laut (Gambar 11).



Gambar 11. Sketsa hubungan air tawar dengan air asin di lokasi 1

Pada Gambar 11, menunjukkan penampang titik duga T-28, di kedalaman 22 m hingga 82 m terlihat indikasi turunnya nilai tahanan jenis batuan dari 48,9 sampai dengan 5,48 Ωm . Pada kedalaman berikutnya terlihat batas kontak (*interface*) dengan nilai resistivitas hingga 0,02 Ωm . Jika dikorelasikan dengan data resistivitas dari titik duga T-28, maka situasi hidrostatik bawah permukaan disajikan seperti pada Gambar 11.

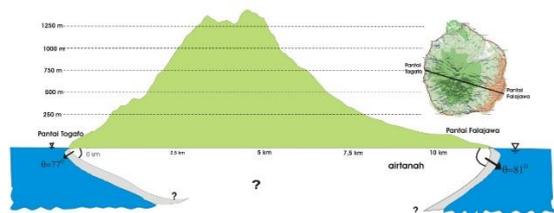
Pada lokasi no. 5, terdapat lintasan pengukuran geolistrik 2D dekat garis pantai Taman Ria dan titik duga T-16 (Sumber Data: Badan Geologi Lingkungan Bandung, 2009), yang terpisah jarak 160 m. Pada penampang titik duga T-16, hingga kedalaman 90 m, tidak terdapat indikasi tersaturasi air asin sebagai tanda batas *interface*. Untuk pengukuran geolistrik 2D dekat garis pantai, *interface* terlihat pada kedalaman 20 m. Sketsa model *interface* pada lokasi ini tidak menunjukkan titik temu/titik akhir kelengkungan. Diperkirakan ketebalan endapan piroklastik (media akuifer baik, produksi tinggi) akibat erupsi samping Danau Ngade, membuat tebalnya air tawar tertekan pada kedalaman lebih dari 90m. Situasi inilah sehingga hasil pengukuran titik duga T-16 tidak menyentuh batas kontak (Gambar 12).



Gambar 12. Sketsa hubungan air tawar dengan air asin di lokasi 5

Perbedaan kedalaman *interface* dan sudut kontak di bagian barat dan bagian timur Pulau Ternate berdasarkan klasifikasi bentuklahan lereng gunungapi bawah dan bentuklahan dataran aluvial kepeesisiran dan perbedaan ini disajikan dalam bentuk sayatan melintang (*cross section*) dari

bagian barat ke bagian timur Pulau Ternate diilustrasikan pada Gambar 13.



Gambar 13. Model *interface* dengan sudut kemiringannya

Berdasarkan hasil penelitian ini, maka teori tambahan yang dapat dibangun berdasar asumsi yang diajukan sebelumnya adalah bahwa kedalaman bidang *interface* dan besar kecilnya sudut kontak antara *interface* dengan garis *mean sea level* masih dapat dihitung dengan metoda geolistrik.

Model kelengkungan *interface* sangat berguna untuk penentuan lokasi pengambilan air tawar dekat garis pantai, baik untuk suatu pulau kecil maupun pulau besar. Penentuan kedalaman dan pola kelengkungan *interface* tentunya lebih sempurna jika mengkombinasikan antaran metode geolistrik (1D dan 2D) dengan persamaan Ghyben – Herzberg. Hasil dan teori yang dibangun dalam penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi dalam pengembangan penelitian, khususnya masalah air tawar dan akuifer pesisir[17].

4. Kesimpulan

Dengan melakukan pengukuran geolistrik 2D di wilayah pesisir Pulau Ternate bagian barat sampai baratdaya pada bentuklahan lereng gunungapi bawah dan bagian timur sampai tenggara pada bentuklahan dataran aluvial kepepesisiran, diketahui terdapat perbedaan kedalaman *interface* antara pesisir di bagian timur dan barat Pulau Ternate, dimana kedalaman *interface* di bagian timur lebih dalam hingga 20 m, sedang di bagian barat Pulau Ternate kedalaman *interface* 10-13 m. Besar sudut *interface* dapat dihitung dengan prinsip trigonometri sederhana, sehingga diperoleh selisih perbedaan sudut *interface* hingga $8,5^{\circ}$.

5. Ucapan Terima Kasih

Tulisan ini merupakan bagian dari disertasi Penulis, oleh karena itu terima kasih kepada pihak Dirjen Dikti yang telah membantu beasiswa S3

(BPPS) kepada Penulis. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Kepala laboratorium MIPA FKIP, Universitas Khairun, yang telah meminjamkan alat geolistrik (Ares) dan Tim lapangan (Marwis, Ino, Rusman dan Haris), yang sudah banyak membantu dalam pengukuran geolistrik.

Daftar Pustaka

- [1] Fetter, C.W. Applied Hydrogeology. *Applied Hydrogeology.*, 615. (2001).
- [2] Todd, D.K Mays, L.. Groundwater Hydrology. (2005).
- [3] Mtoni, Y., Chikira, I., Martens, K., and Bakundukize, C., Estimation of depth to fresh – salt water interface and its implications for sustainable groundwater resource management : a case study of the Coastal strip of Dar es Salaam, Tanzania, *Environmental Earth Sciences*, **73**pp.6639–6662, 2015.
- [4] Zhou, X., ORIGINAL ARTICLE A method for estimating the fresh water e salt water interface with hydraulic heads in a coastal aquifer and its application, *Geoscience Frontiers*, **2**(2), pp.199–203, 2011.
- [5] Gallardo, A. H. and Marui, A., Modeling the dynamics of the freshwater-saltwater interface in response to construction activities at a coastal site, *Int. J. Environ. Sci. Tech*, **4**(3), pp.285–294, 2007.
- [6] Park, N. and Shi, L. , A comprehensive sharp-interface simulation-optimization model for fresh and saline groundwater management in coastal areas, *Hydrogeology Journal*, **23**pp.1195–1204, 2015.
- [7] Werner, A. D. and Simmons, C. T. , Impact of sea-level rise on sea water intrusion in coastal aquifers, *Ground Water*, **47**(2), pp.197–204, 2009.
- [8] Salam, R., Nagu, N., Lessy, R., Achmad, R., Gambaran Resistivitas Batuan Bawah Permukaan Daerah Intursi Air Laut, *Kutai Basin*, **1-9**(2007), pp.1–9, 2018.
- [9] Gaaloul, N., Pliakas, F., Kallioras, A., Schuth, C., and Marinos, P., Simulation of Seawater Intrusion in Coastal Aquifers: Forty Five-Years Exploitation in an Eastern Coast Aquifer in NE Tunisia, *Hydrology Journal*, **6**pp.31–44, 2012.
- [10] Kim, S.D., Lee, H.J., Park, J., Simulation of Seawater Intrusion Range in Coastal Aquifer Using the FEMWATER Model for Disaster Information Institute of Applied Geology , National Central University Grade Evaluation Form Title of Talk : Simulation of Seawater Intrusion Range in Coastal, Marine

- Georesources & Geotechnology, **30**(1979), pp.210–221, 2012.
- [11] Bouderbala, A., Remini, B., and Hamoudi, A. S., Geoelectrical investigation of saline water intrusion into freshwater aquifers: A case study of Nador coastal aquifer, Tipaza, Algeria Geoelectrical investigation of saline water intrusion into freshwater aquifers: A case study of Nador coastal aquife(October), 2016.
- [12] Hadi, I.S., Santoso, H., Lestiana, H., Djuwansah M., Bakti, H., Tjiptasmara, H.W.S., Evaluasi Tubuh Air Tanah Pulau Kecil, LIPI Press, pp.2005, 2005.
- [13] Falkland, A., Tropical Island Hydrology and Water Resources: Current Knowledge and Future Needs, Second International Colloquium on Hydrology and Water Management in the Humid Tropics, pp.237–298, 2002.
- [14] Hamilton, W., Tectonics of the Indonesian Region, Geological Society of Malaysia, Bulletin, **6**pp.3–10, 1979.
- [15] Loke, M., 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys, Tutorial, (July), pp.29, 2004.
- [16] Griffiths, D. and Barker, R. , Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology, Journal of Applied Geophysics, **29**(3–4), pp.211–226, 1993.
- [17] Salam, R. ,Tipologi akuifer pada bentuklahan marin dan bentuklahan gunungapi di pulau ternate, UGM, 2018.