OSEANOLOGI DAN LIMNOLOGI DI INDONESIA
Online ISSN: 2477-328X
Akreditasi RISTEKDIKTI No. 21/E/KPT/2018
http://oldi.lipi.go.id

Potensi Vegetasi Hutan Mangrove untuk Mitigasi Intrusi Air Laut di Pulau Kecil

Cahya Damayanti[1*], Rian Amukti[1], Suyadi[2]

[1]Pusat Penelitian Laut Dalam - Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Ambon
[2]Pusat Penelitian Biologi - Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Bogor

*E-mail: cahy009@lipi.go.id

Submitted 16 April 2020. Reviewed 24 June 2020. Accepted 20 July 2020.
DOI: 10.14203/oldi.2020.v5i2.313

Abstrak

Eksploitasi sumber daya alam di daerah pesisir yang berlebihan dapat menimbulkan permasalahan serius pada ketersediaan air tanah di pulau-pulau kecil yang berakibat pada penurunan kualitas air minum akibat intrusi air laut. Pulau Ambon adalah contoh kasus pulau kecil yang rentan terhadap intrusi air laut. Salah satu ekosistem pesisir yang diduga dapat mencegah intrusi air laut adalah mangrove. Namun, data dan informasi ilmiah tentang parameter hutan mangrove di pulau-pulau kecil yang berupa *spot-spot* kecil untuk mitigasi intrusi air laut belum diketahui. Tujuan penelitian ini adalah menerapkan metode transek dan metode geolistrik konfigurasi *dipole-dipole* untuk mengetahui hubungan antara vegetasi mangrove dengan tingkat intrusi air laut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa potensi hutan mangrove untuk mitigasi intrusi air laut dipengaruhi oleh ketebalan vegetasi dan ukuran pohon mangrove. Di daerah Passo yang memiliki vegetasi mangrove yang tebal (320 m) dan ukuran pohon mangrove yang besar (rata-rata diameter: 19 cm, dan rata-rata tinggi pohon 10 m) tidak terjadi intrusi air laut (nilai resistivitas sebesar 75,5-118 Ωm). Daerah Poka yang memiliki ketebalan mangrove tipis (10 m) dan ukuran pohon mangrove yang kecil (rata-rata diameter: 8,6 cm, dan rata-rata tinggi pohon 5 m) memiliki tingkat intrusi air laut cukup tinggi (nilai resistivitas: 0,798-4,53 Ωm). Daerah Lateri yang tidak memiliki mangrove memiliki tingkat intrusi air laut yang sangat tinggi (nilai resistivitas: 1,4-9,2 Ωm). Dua parameter vegetasi mangrove tersebut juga berhubungan secara negatif terhadap sebaran dan luas intrusi air laut. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa kondisi hutan mangrove di lokasi penelitian sudah terdegradasi dan termasuk ke dalam kategori "rusak". Hasil penelitian ini dapat dipergunakan oleh pemerintah untuk merumuskan kebijakan dan sistem tata kelola air tanah dan kawasan pesisir khususnya hutan mangrove.

Kata Kunci: Mangrove, Intrusi air laut, Geolistrik, Pulau kecil.

Abstract

Mangrove Forest Vegetation Potency to Mitigate Seawater Intrusion on Small Island. Natural resources exploitation in the coastal areas caused serious problems for shallow ground water availabily especially in small islands. Small islands society such as in Ambon Island faces drinking water quality degradation due to the sea water intrusion. Mangrove is one of the coastal ecosystem types that is though to minimize sea water intrusion. However, the information about mangrove parameters that can be used to determine the mangrove forest patches potency in small islands to mitigate sea water intrusion is still limited. The aim of this study is to assess the correlation of mangrove vegetation and sea water intrusion using transect and dipole-dipole configuration geoelectric methods. The study showed that the thickness of mangrove vegetation and the size of mangrove trees determined the mangrove forest potency to mitigate sea water intrusion. There was no sea water intrusion (relativity values: 75.5-118 Ωm) in Passo, due to thick mangrove vegetation (mean: 320 m) and big mangrove tree sizes (mean diameter: 19 cm and mean height: 10 m). Sea

water intrusion was low (relativity values: 0.798-4.53 Ωm) in Poka due to thin mangrove vegetation (mean 10-100 m) and small tree sizes (mean diameter: 8.6 cm and mean height: 5 m). In contrasts, sea water intrusion was very high (relativity values: 1.4-9.2 Ωm) for the areas without mangrove vegetation (e.g. Lateri). These mangrove parameters were also negatively correlated with the distribution and coverage area of sea water intrusion. Mangrove patches in small islands can be used as sea water intrusion mitigation tools, but the ecosystem condition was already degraded or in the poor conditions. The findings of this study are useful for government as a basis in decision making and to better manage of ground water and coastal ecosystem particularly mangrove.

Keywords: Mangrove, Seawater intrusion, Geoelectric, Small island.

Pendahuluan

Sebagai negara maritim, Indonesia memiliki wilayah perairan laut yang luas dan wilayahnya berupa kepulauan. Sekitar 77% (13.466 pulau) dari total 17.504 pulau yang ada di wilayah Indonesia adalah pulau kecil (<2.000 km^2) (Purba, 2013; Undang-Undang Republik Indonesia, No. 27 Tahun 2007). Pulau kecil memiliki kawasan pesisir yang luas dengan sumber air tawar yang terbatas. Perubahan ekosistem pesisir dan pengaruh interaksi lautan dapat mengubah kualitas air tawar menjadi payau yang disebabkan oleh adanya intrusi air laut. Intrusi air laut adalah merembesnya atau masuknya air laut ke dalam akuifer air tanah karena tekanan air tanah lebih kecil dibandingkan dengan tekanan air laut (Costall et al., 2018). Luasnya intrusi air laut dipengaruhi oleh sifat geologis, gradien hidrolik dan laju pengambilan air tanah (Choudhury et al., 2001). Salah satu faktor yang mempengaruhi laju persebaran intrusi air laut adalah keadaan geologi suatu daerah. Keadaan geologi suatu daerah mempengaruhi jumlah air tanah yang tersimpan di bawahnya. Hal yang mempengaruhinya adalah porositas dan permeabilitas batuan atau tanah. Permeabilitas adalah kemampuan batuan atau tanah untuk meloloskan air. Porositas adalah jumlah pori atau rongga dalam volume batuan, tanah atau sedimen (Peng & Zhang, 2007). Nilai porositas dan permeabilitas dari berbagai tipe bantuan dapat dilihat dalam Tabel 1.

Secara ekologis, faktor yang diduga mempengaruhi intrusi air laut adalah ekosistem pesisir, salah satunya adalah ekosistem hutan mangrove (Spalding, 2010; Duke, 2001). Indonesia mempunyai hutan mangrove terbesar di dunia, sebanyak 3.489,68 ha (23%) dari luas mangrove dunia terdapat di negara ini (Giri et al., 2011). Mangrove tersebar di seluruh pesisir Indonesia baik di pulau-pulau yang berukuran besar maupun yang berukuran kecil. Indonesia juga sebagai pusat keanekaragaman jenis mangrove dimana terdapat 40 jenis mangrove sejati (67%) dari jumlah total jenis mangrove yang ada di dunia (Noor et al., 1999). Sebanyak 14 jenis mangrove di Indonesia terancam punah, dengan tiga jenis mangrove adalah jenis endemik (Noor et al., 1999).

Eksploitasi di daerah pesisir yang berlebihan dapat menimbulkan permasalahan serius pada ketersediaan air tanah dangkal. Contoh eksploitasi yang umum terjadi adalah konversi kawasan hijau di daerah pesisir (e.g. mangrove) menjadi sarana infrastruktur dan perumahan penduduk. Selain telah melanggar Undang-Undang Nomor 1 tahun 2014 tentang pemanfaatan ruang dan sumber daya perairan pesisir dan perairan di pulau-pulau kecil, kegiatan tersebut juga berdampak buruk terhadap sumber daya air untuk konsumsi di wilayah pesisir akibat terjadinya intrusi air laut. Penggunaan air tanah yang telah mengalami intrusi untuk dikonsumsi maupun kegiatan lain seperti mandi, dapat mengganggu kesehatan (Anna, 2016). Karena air yang mengandung NaCl (*Natrium Chloride*) tinggi dapat mengganggu metabolisme dalam tubuh manusia.

Salah satu contoh kasus pulau-pulau kecil yang mengalami intrusi air laut adalah Pulau Ambon. Luas Pulau Ambon yang hanya 775 km^2 memiliki kepadatan penduduk 647 orang/km^2 dengan kepadatan penduduk tertinggi di sekitar Teluk Ambon (Kota Ambon) dan jumlah penduduk yang terus meningkat hingga 3,43%, yang mana jumlah penduduk pada tahun 2017 adalah 411.617 jiwa (Ohello, 2010; BPS Kota Ambon, 2019). Sebagian besar masyarakat di Ambon menggunakan air sumur untuk memenuhi kebutuhan air sehari-hari. Sebagian masyarakat lainnya memanfaatkan air sungai karena air sumur terasa asin atau payau. Masalahnya adalah debit air sungai pada musim kemarau kecil dan pada musim hujan air menjadi keruh akan membuat air tanah semakin tidak layak untuk diminum.

Tabel 1.Nilai porositas dan permeabilitas pada berbagai tipe batuan (Linsley et al., 2016)
Table 1. Porosity and permeability values in various rock types (Linsley et al., 2016)

Rock Types	Porosity (%)	Permeability (m/day)
Clay	45	0.0004
Sand	35	41
Gravel	25	4100
Sand and Gravel	20	410
Sandstone	15	4.1
Limestone	5	0.04
Kwarsit	1	0.0004

Hutan mangrove di Teluk Ambon diduga memiliki peran penting sebagai perlindungan pantai dan pencegah intrusi air laut. Tercatat 15 jenis mangrove ada di Teluk Ambon, beberapa diantaranya merupakan jenis-jenis mangrove yang sudah jarang ditemukan yaitu *Xylocarpus mollucensis* dan *Camptostemon schultzii* (Suyadi et al., 2019). Namun, studi terdahulu menunjukkan bahwa kondisi ekosistem mangrove di Teluk Ambon terus mengalami penurunan (Suyadi, 2012). Laju deforestasi hutan mangrove di Teluk Ambon adalah 3,5% /tahun (2,98 ha /tahun), atau dari 86 ha pada tahun 1995 menjadi 57 ha pada tahun 2017 (Rotua, 2017). Ancaman utama hutan mangrove di daerah tersebut adalah pencemaran plastik dan konversi hutan mangrove untuk pembangunan di kawasan pesisir (Suyadi et al., 2019).

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa salah satu fungsi ekosistem mangrove adalah untuk menahan intrusi air laut (Cobb et al., 2007; Hilmi et al., 2017; Teh et al., 2013; Salim et al., 2017). Simulasi model menunjukkan bahwa tingkat intrusi air laut di pengaruhi oleh kepadatan dan ketebalan hutan mangrove (Hilmi et al., 2017). Simulasi model menggunakan *Mangrove-Hardwood Hammock Model* (MANHAM) menunjukkan bahwa intrusi air laut di pengaruhi oleh suksesi vegetasi mangrove dalam arti perubahan distribusi (zonasi) mangrove (Teh et al., 2013). Namun model-model tersebut masih perlu divalidasi menggunakan data lapangan.

Kajian pengaruh vegetasi mangrove terhadap intrusi laut menggunakan data lapangan pernah dilakukan untuk menentukan jenis penggunaan lahan pantai (Salim et al., 2017). Penelitian tersebut menggunakan citra satelit dan pengecekan lapangan, analisis kondisi fisik tanah, pengamatan intrusi air laut, dan analisis perubahan garis pantai akibat abrasi atau ekresi. Metode yang diterapkan untuk pengamatan intrusi laut adalah perbandingan konsentrasi *klorida-bikarbonat,* pengukuran DHL (Daya hantar listrik) dan TDS (*Total Dissolve Solid*).

Berdasarkan permasalahan di atas maka diperlukan penelitian terkait potensi hutan mangrove untuk mitigasi intrusi air laut di pulau-pulau kecil. Penelitian ini diperlukan untuk mengisi kekosongan pengetahuan (*knowledge gaps*) tentang potensi hutan mangrove di pulau-pulau kecil yang berupa *spot-spot* hutan untuk mitigasi intrusi air laut dari aspek geofisika, vegetasi, dan geologis yang masih sangat terbatas. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang banyak menggunakan simulasi model dan menggunakan parameter fisika (TDS, DHS, salinitas, dan pH), penelitian ini menerapkan metode transek mangrove dan geolistrik konfigurasi *dipole dipole.* Metode geolistrik konfigurasi *dipole dipole* adalah pengukuran resistivitas (tahanan jenis) dengan menggunakan resistivitimeter. Metode geolistrik sebagai metodologi geofisika dinilai lebih efektif dalam eksplorasi yang sifatnya dangkal seperti identifikasi daerah intrusi air laut karena dapat memberi gambaran kondisi lapisan tanah (Pujianiki & Simpen, 2018). Sementara itu, metode transek yang diterapkan bukan hanya dapat mengungkap ketebalan dan kepadatan mangrove saja tetapi juga status kesehatan dan karakteristik mangrove. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan data dan informasi ilmiah untuk merumuskan sistem pengelolaan air tanah seperti rehabilitasi dan restorasi sumber daya pesisir khususnya mangrove untuk mencegah intrusi air laut.

Metodologi

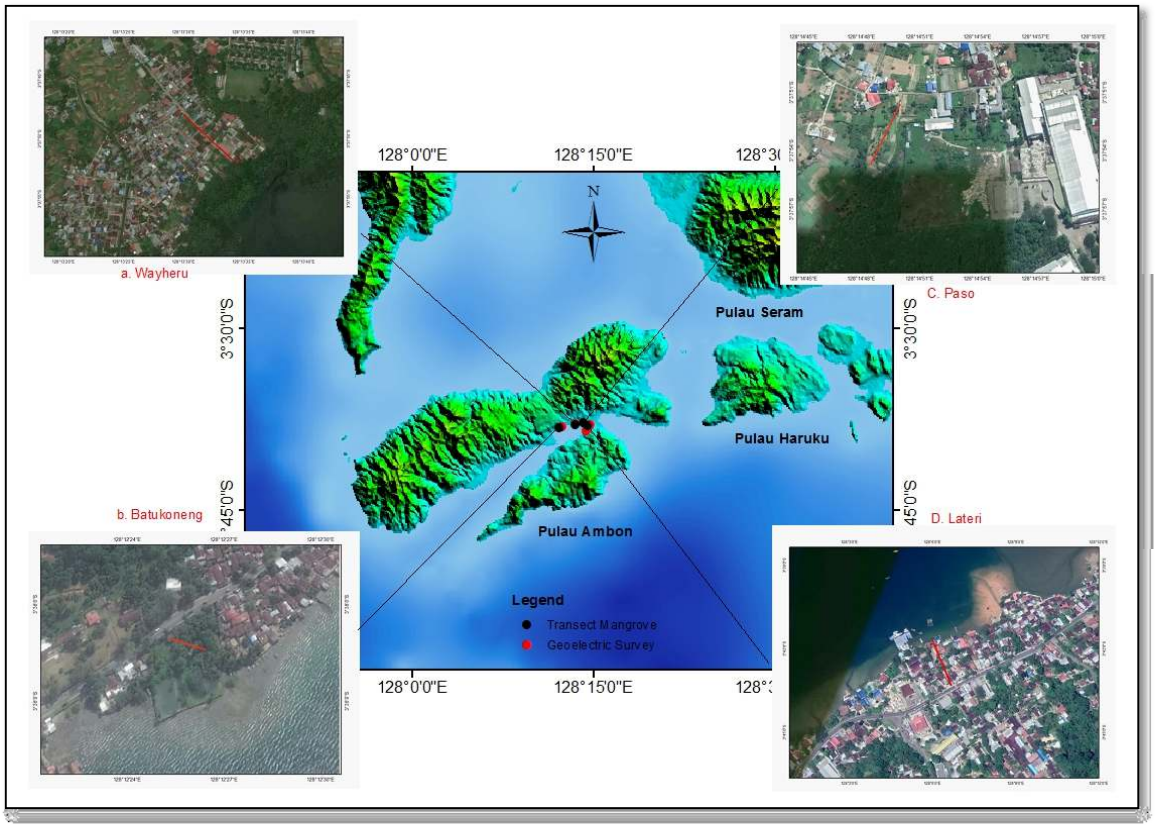
Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Teluk Ambon, Pulau Ambon, Provinsi Maluku (Gambar 1). TelukAmbon dibagi menjadi dua bagian yaitu Teluk Ambon Dalam (TAD) dan Teluk Ambon Luar (TAL), dimana keduanya dipisahkan ambang (*sill*) sempit diantara daerah Poka dan Galala. Lokasi penelitian adalah TAD yang memiliki karakteristik perairan yang tertutup karena sirkulasi air terhambat oleh ambang. Pesisir TAD

merupakan ekosistem mangrove yang juga memiliki kepadatan penduduk yang tinggi. Terdapat empat lokasi penelitian geolistrik dan empat lokasi untuk transek mangrove (Gambar 1) yaitu Passo (S = 3º 37′ 55,03″ dan E = 128º 14′ 48,55″), Wayheru (S = 3º 37′ 52,17″ dan E =128º 13′ 34,41″), Poka (S = 3º 38′ 08,58″ dan E = 128º 12′ 26,43″), dan Lateri (S = 3º 38′ 27,20″ dan E = 128º 14′ 25,80″).

Lokasi sampling terdiri atas daerah Passo (vegetasi mangrove yang luas), daerah Wayheru (vegetasi mangrove yang sedang), daerah Poka (vegetasi mangrove yang kecil), dan daerah Lateri yang tidak memiliki vegetasi mangrove (Gambar 1). Lokasi sampling tersebut ditentukan dengan metode *purposive random sampling* untuk mewakili daerah yang terdapat mangrove (luas mangrove) dan tidak terdapat mangrove serta variasi geomorfologis yang ada di Teluk Ambon Dalam. Survei lapangan dilaksanakan selama 10 hari mulai dari tanggal 04-08 Oktober 2019 dan tanggal 14-18 Oktober 2019 saat musim kemarau. Pemilihan musim saat pengambilan data tidak mempengaruhi hasil pengukuran karena berdasarkan informasi dari masyarakat sekitar, baik pada musim hujan ataupun kemarau, rasa air tanah tidak berubah hanya menjadi agak keruh pada saat turun hujan. Perbedaan musim saat pengambilan data geolistrik tidak terlalu berpengaruh. Hal ini karena saat musim hujan, pada tanah yang mengalami gangguan kestabilan akibat pori-pori tanah terisi oleh air, secara kelistrikan akan berakibat pada harga resistivitas tanah namun pola resistivitas perlapisan tanahnya tidak berubah (sama) (Park et al., 2005)

.



Gambar 1. Lokasi penelitian di Teluk Ambon Dalam, yang mana: titik merah adalah lokasi sampling geolistrik, dan titik hitam adalah lokasi transek mangrove

Figure 1. Study location in Ambon Dalam Bay, where red dots were geoelectric sampling locations and black dots were mangrove transect locations.

Transek Mangrove

Penelitian vegetasi mangrove dilakukan dengan menggunakan metode transek yang mana lokasi transek dipilih dan ditentukan untuk mewakili luasan mangrove (area) dan kondisi lingkungan setempat seperti faktor-faktor oseanografi dan geomorfologi pesisir. Transek dibuat tegak lurus garis pantai dan di sepanjang transek tersebut dibuat *plot-plot* berukuran 10x10 m untuk mewakili seluruh variasi vegetasi atau stratifikasi/zonasi mangrove.

Data yang diambil dalam setiap *plot* meliputi jenis mangrove, diameter batang, dan tinggi pohon. Diameter pohon diukur sebatas dada orang dewasa (±1,30m) dengan menggunakan DBH *tape* pada variasi letak dan posisi pengukuran berdasarkan English et al., (1997) dan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup RI No. 201 tahun 2004 tentang kriteria baku dan pedoman penentuan kerusakan mangrove. Tinggi pohon diestimasi secara visual menggunakan alat pengukur tinggi *rangefinder* dari atas permukaan tanah hingga pucuk kanopi.

Analisis data dilakukan sesuai dengan buku panduan monitoring ekosistem mangrove (Dharmawan & Pramudji 2017). Parameter utama yang dianalisis adalah kerapatan pohon, ketebalan hutan mangrove, karakteristik pohon (diameter dan tinggi pohon), dan Indeks Nilai Penting (INP). Perhitungan Indeks Nilai Penting adalah sebagai berikut: INP = RDi + RFi + RCi, dimana RDi adalah kerapatan relative, RFi adalah Frekuensi relatif, dan RCi adalah penutupan relatif. Kerapatan pohon (individu/ha) dinyatakan dengan rumus

$$K_{species\ ke-i}(pohon|ha) = nilai\ K_{species\ ke-1} * 10.000/[plot(n) * luas\ plot] \quad (1)$$

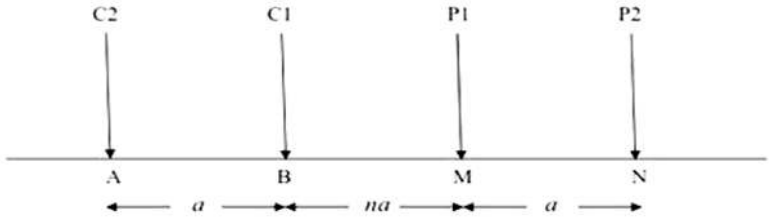
$$K_{total}(pohon|ha) = nilai\ K_{total} * 10.000/n \quad (2)$$

Geolistrik dan konfigurasi *dipole-dipole*

Pengukuran dilakukan menggunakan alat resistivimeter *single channel* dengan cara melakukan pengukuran sesuai dengan prosedur operasional metode geolistrik konfigurasi *dipole-dipole* (Gambar 3). Pengambilan data dilakukan sebanyak 6 n di mana n adalah variasi lintasan pengukuran yang artinya tiap lintasan memiliki panjang hingga 100 m dan panjang masing-masing spasi tiap elektroda 10 m sehingga memiliki penetrasi kedalaman sekitar 18-25 m. Daerah pengukuran rata-rata berjarak 3-4meter dari bibir pantai. Data dianalisis dengan program *Res2Dinv* untuk mendapatkan nilai resistivitas pada masing-masing lintasan (Reynolds, 1997; Loke, 2004). Nilai resistivitas ini kemudian diinterpetasikan sehingga didapatkan informasi ada tidaknya intrusi air laut didaerah tersebut.

Kajian intrusi air laut menerapkan metoda geolistrik yang merupakan salah satu bagian dari metoda geofisika yang mana sifat aliran listrik di dalam bumi dipelajari, seperti pengukuran potensial listrik, dan arus listrik akibat injeksi arus ke dalam bumi dengan tujuan berbeda yaitu pengukuran untuk *mapping* dan *sounding* (Costall et al., 2018). Metode geolistrik dengan konfigurasi *dipole-dipole* yang diterapkan dalam penelitian ini memiliki beberapa kelebihan yaitu: 1) dapat memberikan gambaran bawah permukaan pada obyek yang penetrasinya relatif lebih dalam dibandingkan dengan metode *sounding* lainnya seperti konfigurasi *wenner* dan konfigurasi *schlumberger*; 2) metode ini sering digunakan dalam survei resistivitas karena rendahnya efek elektromagnetik yang ditimbulkan antara sirkuit arus dan potensial (Loke, 2000). Pada konfigurasi *dipole-dipole* ada empat elektroda, yaitu dua elektroda arus dan dua elektroda potensial, dimana masing-masing elektroda diberi jarak tertentu dan divariasi (Gambar 2)

.



C1 = Electrode 1, C2 = Electrode 2
P1 = Potential Electrode 1, P2 = Potential Electrode 2

Gambar 2. Elektroda dan potensial dalam konfigurasi *dipole-dipole* (Reynolds, 1997).
Figure 2.Electrodes and potentials in the dipole-dipole configuration (Reynolds, 1997).

Nilai resistivitas semu dari konfigurasi *dipole-dipole* adalah beda potensial yang terjadi antara MN yang disebabkan oleh injeksi arus pada AB (Priambodo et al., 2011). Metode geolistrik digunakan untuk mengetahui nilai resistivitas tahanan jenis material geologi bawah permukaan yang berhubungan dengan komposisi fluida dan porositas batuan. Tabel L1 (Lampiran) menunjukkan variasi nilai-nilai resistivitas berbagai jenis material. Perhitungan nilai resistivitas semu dinyatakan dalam rumus

$$\Delta V = V_M - V_N \quad (3)$$

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi}\left[\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM}\right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN}\right)\right] \quad (4)$$

$$\rho = 2\pi\left[\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM}\right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN}\right)\right]^{-1} \quad (5)$$

$$\rho = k\frac{\Delta V}{I} \quad (6)$$

$$\rho = k.\ R \quad (7)$$

dengan k = n(n + 1)(n + 2) πa

Hasil

Karakteristik Vegetasi Mangrove

Vegetasi mangrove di lokasi penelitian memiliki ketebalan yang bervariasi (Tabel 2). Lokasi penelitian Passo memiliki ketebalan mangrove paling tinggi yaitu 320 m, diikuti oleh Wayheru dan Poka, sedangkan di Lateri tidak terdapat mangrove. Daerah Passo dan Wayheru memiliki kondisi geomorfologi yang relatif landai yang cocok untuk pertumbuhan mangrove. Penelitian juga menemukan bahwa pada mangrove, baik yang tebal maupun yang tipis tidak menunjukkan adanya zonasi yang jelas.

Mangrove di lokasi penelitian memiliki karakteristik diameter dan tinggi pohon yang bervariasi masing-masing berkisar antara 9,7-25,8 cm dan 2,8-16,3 m. Diameter dan tinggi pohon memiliki korelasi yang cukup nyata yaitu r^2 = 0,524, p< 0,001, n = 192. Passo memiliki karakteristik pohon mangrove (diameter dan tinggi) yang paling besar (rata-rata 18,7± 9,8 cm) dan paling tinggi (9,8 ± 4,4 m) dibandingkan Wayheru dan Poka (Tabel 2).

Kerapatan pohon mangrove di lokasi penelitian yaitu antara 233-1580 individu/ha, dengan rata-rata 846 individu/ha. Tabel 2 menunjukkan bahwa hutan mangrove di Wayheru memiliki kerapatan tertinggi yaitu 1433 ± 565 pohon/ha atau masuk kedalam kategori padat. Sedangkan mangrove di Passo dan Poka masing-masing memiliki kerapatan (450 ± 243 pohon/ha) dan (233 ± 103 pohon/ha) atau masuk kedalam kategori rendah dan sangat rendah. Tidak ada perbedaan yang nyata antara kerapatan pohon di daerah mangrove yang dekat dengan darat (*landward*) dengan daerah mangrove yang dekat dengan laut (*landward*). Tutupan kanopi (*canopy coverage*) mangrove diseluruh lokasi penelitian masuk kedalam kategori jarang (<50%).

Pada penelitian ini berhasil dicatat 15 jenis mangrove di Teluk Ambon, dimana dua jenis (*Cerbera manghas* dan *Hibiscus tiliaceus*) diantaranya adalah mangrove ikutan (*associate mangrove*). Wayheru memiliki keragaman mangrove tertinggi (9 jenis), diikuti oleh Passo (5 jenis) dan Poka (3 jenis). Jenis mangrove yang dominan dan ditemukan diseluruh transek adalah *Soneratia alba* dan *Rhizopohora apiculata*. Jenis *Rhizopohora apiculata* dominan di Wayheru (INP: 85,6) dan di Poka (INP 56,5), sedangkan *Soneratia alba* dominan di Passo (INP 85,6).

Penampang dua dimensi nilai resistivitas

Nilai resistivitas yang telah diolah, ditampilkan dalam bentuk penampang dua dimensi, dimana penampang ini dapat menggambarkan kondisi lapisan bawah permukaan dari perbedaan nilai resistivitas.

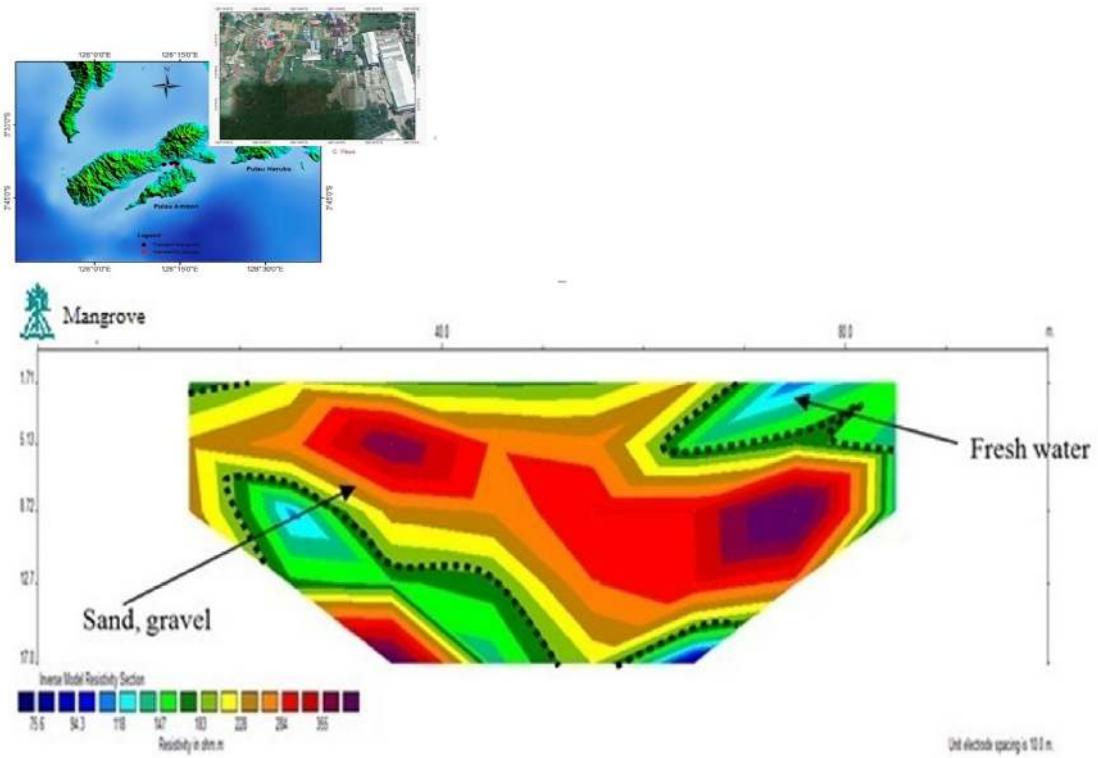
Tabel 2. Karakteristik vegetasi mangrove
Table 2. Mangrove vegetation characteristics.

Location	Average of mangrove thickness (m)	Average of tree diameter (cm)	Average of tree height (m)	Mangrove density (tree/ha)	Dominant mangrove type	IVI (Impor-tant Value Index)
Passo	320	18.7 ± 9.8	9.8 ± 4.4	450 ± 243	*Sonneratia alba*	76.7
Wayheru	100	10.5 ± 6.4	6.8 ± 2.3	1433 ± 565	*Rhizopohora apiculata*	85.6
Poka	10	8.6 + 3.5	5.1 ± 2.4	233 ± 103	*Rhizopohora apiculata*	56.5
Lateri	0	0	0	0	No mangrove	0

Lintasan Daerah Passo

Hasil interpretasi data untuk daerah Passo dapat dilihat pada Gambar 3.

Hasil analisis dari interpretasi data untuk daerah Passo berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 3. Penampang resistivitas daerah Passo.
Figure 3. Resistivity section in Passo area.

Tabel 3. Hasil interpretasi lintasan Passo.
Table 3. Passo line interpretation result.

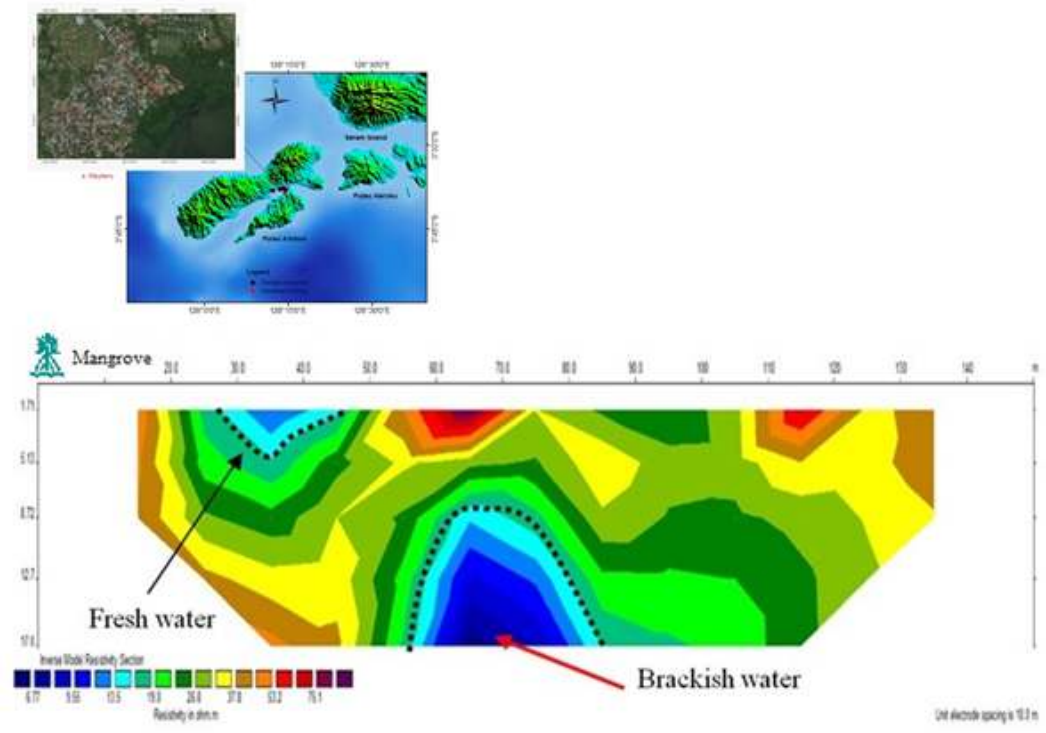
Colour Scale	Resistivity (Ωm)	Sediment
■ — ■	75.5-118	Sand, gravel and clay
■ — ■	119-183	Sand, gravel
■ — ■	184-355	Sand, gravel

Model penampang resistivitas ini menunjukkan daerah Passo didominasi oleh pasir, kerikil dan lempung. Pada interpretasi penampang resistivitas ini nilai tahanan jenis 75,5 Ωm diperkirakan merupakan air tanah dengan kualitas yang baik. Hal ini dibuktikan dengan adanya sumber air tanah pada sumur warga yang dangkal dengan kedalaman 5 m. Dari hasil penelitian pada daerah ini tidak ditemukan adanya intrusi air laut.

Lintasan Daerah Wayheru

Hasil interpretasi data untuk daerah Wayheru dapat dilihat pada Gambar 4.

Hasil analisis dari interpretasi data untuk daerah Wayheru berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat pada Tabel 4.



Gambar 4. Penampang resistivitas daerah Wayheru.
Figure 4. Wayheru area resistivity section.

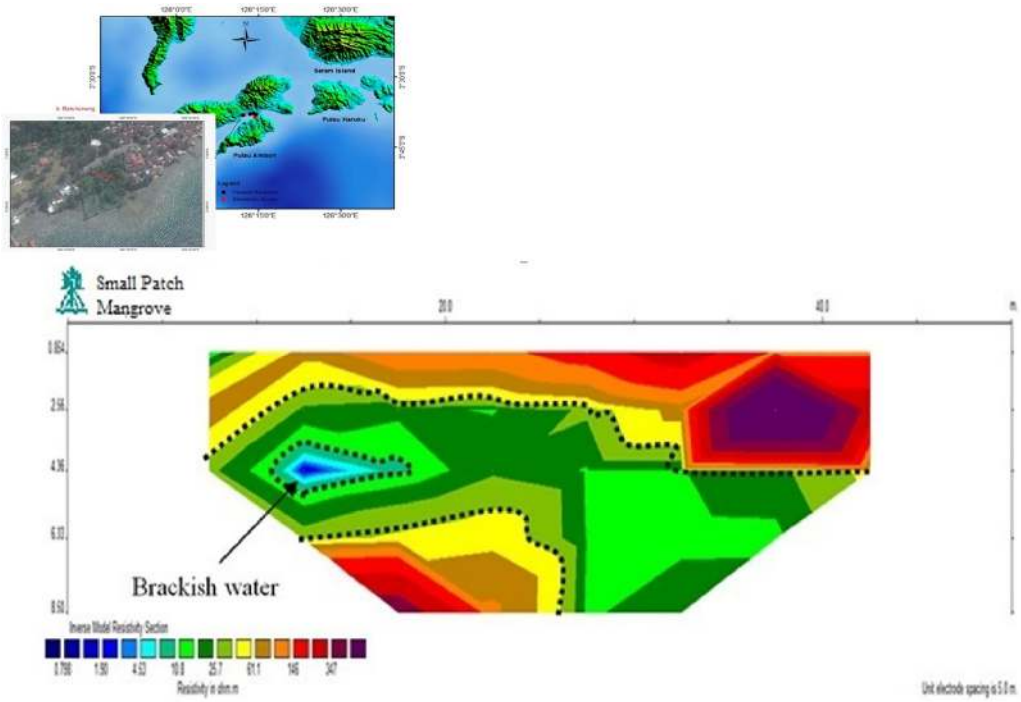
Tabel 4. Hasil interpretasi lintasanWayheru.
Table 4. Wayheru line interpretation result.

Colour Scale	Resistivity (Ωm)	Sediment
	6.77-13.5	Sand and clay
	13.6-26.8	Sand and clay
	30.0-75.1	Sand and little clay

Daerah Wayheru adalah daerah padat penduduk, sehingga telah banyak vegetasi mangrove yang ditebang dan jadikan perumahan. Interpretasi penampang resistivitas dua dimensi pada skala warna biru dengan nilai tahanan jenis 6,7 hingga 13,5 Ωm, secara teori (Lampiran) merupakan daerah yang diperkirakan merupakan air payau pada kedalaman sumur lebih dari 10 m. Namun pada daerah ini tidak ditemukan adanya indikasi intrusi air laut atau penurunan kualitas air tanah karena air sumur warga masih terasa tawar hingga kedalaman 12 m.

Lintasan Daerah Poka

Hasil interpretasi data untuk daerah Poka dapat dilihat pada Gambar 5. Hasil analisis dari interpretasi data untuk daerah Poka berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat pada Tabel 5.



Gambar 5. Penampang resistivitas daerah Poka.
Figure 5. Resistivity section in Poka area.

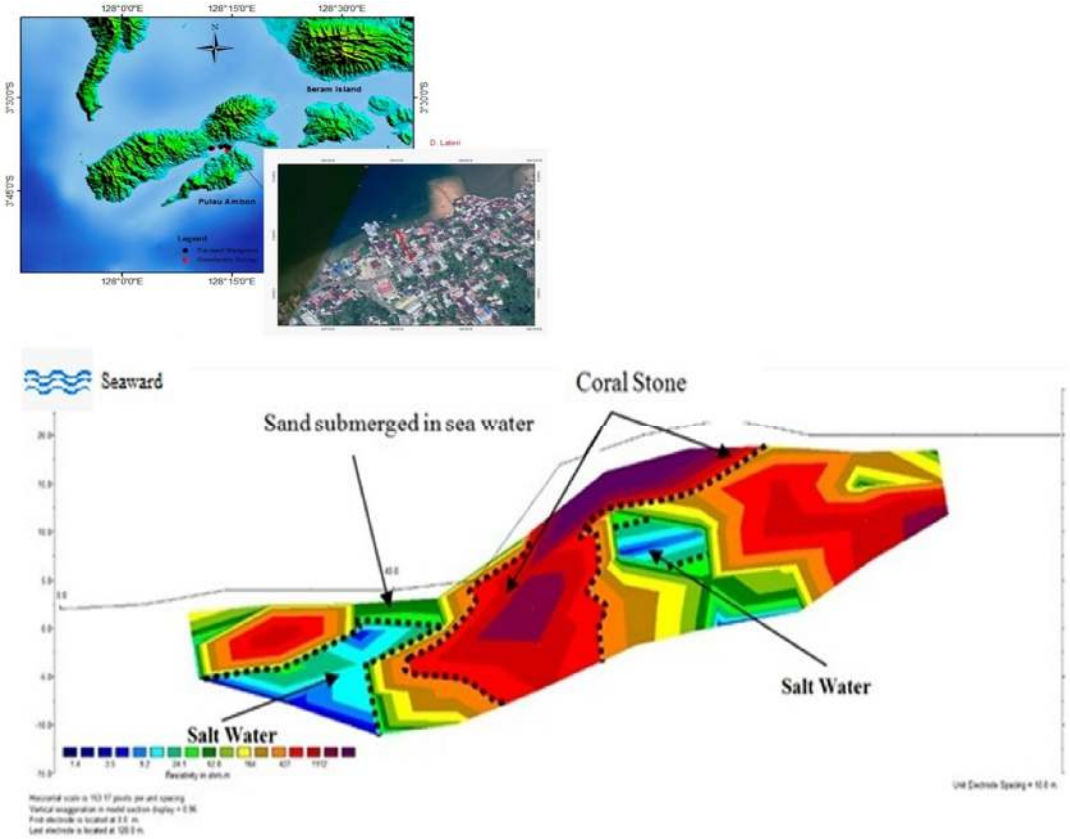
Tabel 5. Hasil interpretasi lintasan Poka.
Table 5. Poka line interpretation result.

Colour Scale	Resistivity (Ωm)	Sediment
	0.798-4.53	Sand submerged in sea water and little clay
	4.6-25.7	Sand and little clay
	26.0-34.7	Sandy soil and little clay

Penampang resistivitas dua dimensi di daerah Poka memiliki kecenderungan daerah skala warna biru dengan nilai tahanan jenis 0,798 hingga 4,53 Ωm merupakan daerah yang diperkirakan merupakan air asin pada kedalaman 5 m. Pada daerah ini ditemukan adanya intrusi air laut namun area nya tidak luas sehingga tidak mengkhawatirkan.

Lintasan Daerah Lateri

Hasil interpretasi data untuk daerah Lateri dapat dilihat pada Gambar 6. Hasil analisis dari interpretasi data untuk daerah Lateri berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat pada Tabel 6.



Gambar 6. Penampang resistivitas daerah Lateri.
Figure 6. Resistivity section in Lateri area.

Tabel 6. Hasil interpretasi lintasan Lateri.
Table 6. Lateri line interpretation result.

Colour Scale	Resistivity (Ωm)	Sediment
	1.4-9.2	Clay and sand submerged in sea water
	10-62.8	Sand and clay
	63-1112	Sand and coral stone

Interpretasi penampang dua dimensi nilai resistivitas di daerah Lateri menunjukkan skala warna biru dengan nilai tahanan jenis 1,4 Ωm merupakan daerah air asin (warna biru tua), daerah berwarna biru muda dengan tahanan jenis 9,2 Ωm merupakan daerah yang diperkirakan merupakan air payau cenderung asin. Sedimen daerah penelitian pada lintasan ini didominasi pasir, lempung dan batuan koral. Adanya batuan koral dalam lintasan ini mempengaruhi tingkat intrusi air laut. Batuan koral adalah batuan gamping (*limestone*) yang memiliki tingkat porositas rendah (5%). Sehingga daerah Lateri mengalami persebaran intrusi air laut yang luas. Hal ini cukup mengkhawatirkan karena sebagian besar penduduk di daerah Lateri tidak dapat memanfaatkan air sumur mereka untuk kegiatan sehari hari karena airnya terasa asin dan tidak layak dikonsumsi.

Mangrove, karakter sedimen, dan resistivitas

Tiga parameter vegetasi mangrove yang berhubungan dengan karakter sedimen dan tingkat resistivitas adalah ketebalan vegetasi mangrove serta ukuran pohon yang meliputi diameter dan tinggi pohon. Daerah yang memiliki vegetasi mangrove yang tebal dan ukuran pohon yang besar dan substrat atau sedimen berupa lempung

memiliki tingkat resistivitas yang tinggi (Tabel 7). Sebagai contoh, daerah Passo memiliki vegetasi mangrove yang paling tebal dengan diameter pohon yang besar dan substrat berupa lempung atau lumpur memiliki tingkat resistivitas 75,5-118 Ωm yang merupakan area air tawar. Daerah Wayheru memiliki ketebalan vegetasi mangrove yang lebih tipis dan ukuran pohon yang lebih kecil dengan sedimen pasir, kerikil dan lempung memiliki tingkat resistivitas yaitu 6,77-13,5 Ωm dengan indikasi air payau. Daerah Poka yang memiliki ketebalan vegetasi mangrove lebih tipis dan ukuran pohon yang lebih kecil dengan sedimen pasir dan sedikit lempung memiliki tingkat resistivitas yaitu 0,798-4,53 Ωm dengan indikasi air asin. Sedangkan daerah Lateri yang tidak terdapat mangrove dengan substrat berupa pasir, lempung dan batuan koral memiliki resistivitas hanya 1,4-9,2 Ωm yang merupakan area intrusi air laut yang membuat kualitas air tawar berubah menjadi asin.

Tabel 7. Karakteristik mangrove, sedimen, dan resistivitas.
Table 7. Mangroves, sediments, and resistivity characteristics.

Variable	Passo	Wayheru	Poka	Lateri
Mangrove thickness (m)	320	100	10	0
Mean diameter of tree (cm)	18.7	10.5	8.6	0
Mean height of tree (m)	9.8	6.8	5.1	0
Mangrove density (tree/ha)	450 ± 243	1433 ± 565	233 ± 103	0
Sediment	Sand, gravel and little clay	Sand, gravel and clay	Sand submerged in sea water and little clay	Sand submarged in sea water and little clay
Resistivity (Ωm)	75.5 - 118	6.77 – 13.5	0.798 – 4.53	1.4 – 9.2

Pembahasan

Penelitian ini menunjukkan bahwa tingkat intrusi air laut di lokasi penelitian bervariasi yang ditunjukkan oleh nilai resistivitas mulai dari 0,79 hingga 118 Ωm dan karakteristik sedimen (Gambar 3-6). Ini berarti bahwa karakteristik sedimen mempengaruhi kualitas air (tipe air) yaitu air asin (*salt water)*, air payau (*brackish water*), dan air tawar (*fresh water)* (Tabel 8). Hal ini karena resistivitas yang dihasilkan melalui metode geolistrik dapat digunakan untuk mempelajari keadaan geologi bawah permukaan seperti karakteristik sedimen bawah permukaan (Telford et al., 1990). Pendugaan geolistrik ini didasarkan pada kenyataan bahwa material yang berbeda akan mempunyai nilai resistivitas yang berbeda. Faktor yang mempengaruhi perbedaan nilai resistivitas antara lain adalah nilai porositas batuan. Jika porositas batuan semakin besar maka kemampuan batuan dalam menahan air semakin baik. Jika porositasnya kecil, air resapan laut akan mudah melewatinya karena batuan tersebut tidak mampu menahan air dengan baik. Lempung memiliki porositas 45%, pasir memiliki porositas 35% dan kerikil memiliki porositas 25%, sementara koral (gamping) hanya memiliki porositas 5%.

Selain dari faktor karakteristik sedimen, faktor ekosistem hayati berupa vegetasi mangrove juga berpengaruh terhadap terjadinya intrusi air laut. Sebagai contoh, daerah Passo memiliki vegetasi mangrove yang tebal, rata-rata 320 m (Tabel 7) ternyata memiliki nilai resistivitas 75,5-118 Ωm, artinya daerah ini tidak mengalami intrusi air laut. Air tawar pada daerah ini dapat ditemukan pada kedalaman yang relatif dangkal yaitu 1,71-5,13 m. Potensi mangrove sebagai pencegah intrusi air laut terbukti juga di daerah Wayheru. Meskipun ditinjau dari karakteristik sedimen seharusnya ada intrusi air laut (Tabel 8), namun sumur-sumur di daerah tersebut menghasilkan air tawar yang ditemukan pada kedalaman 1,71-11,5 m. Sedangkan proses intrusi air laut diperkirakan terdapat pada kedalaman 12-17,1 m yang ditandai

dengan berubahnya kualitas air tawar menjadi payau. Hal tersebut mungkin terkait dengan adanya vegetasi mangrove yang cukup tebal dengan rata-rata ketebalan 100 m (Tabel 7), yang masih mampu memfilter air sehingga air sumur tidak asin

Tabel 8. Resistivitas dari air dan sedimen daerah penelitian.
Table 8. Water and sediment resistivity in area of study.

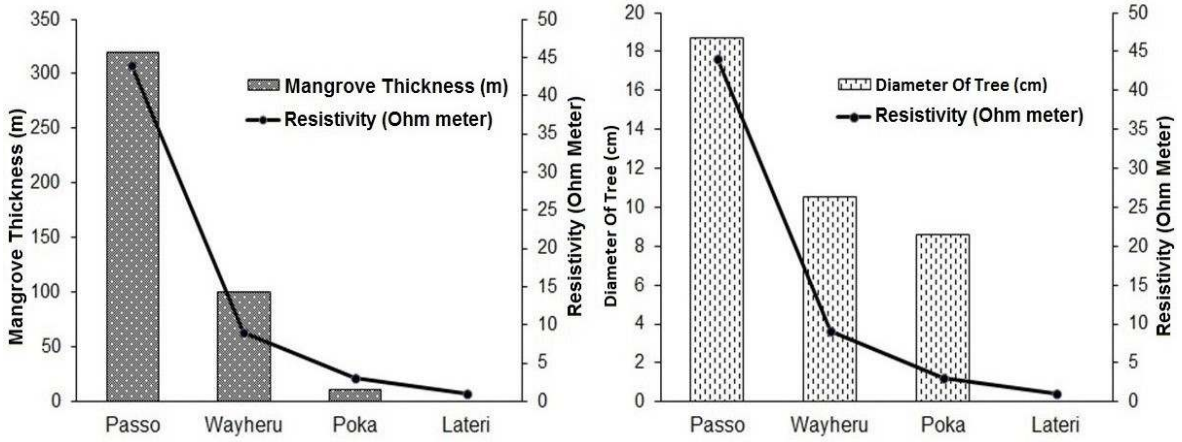
Location	Resistivity (Ωm)	Sediments	Type of Water	Depth (m)
Passo	75.5 - 118	Sand, gravel and little clay	Fresh water	1.71 – 5.13
Wayheru	6.77 – 13.5	Sand, gravel and clay	Fresh water Brackish water	1.71 – 11.5 12 – 17.1
Poka	0.798 – 4.53	Sand submerged in sea water and little clay	Salt water	3.5 – 5
Lateri	1.4 – 9.2	Sand submarged in sea water and little clay	Salt water	1.7 - 12

Sebaliknya, daerah Poka dengan ketebalan rata-rata vegetasi mangrove hanya 10 m merupakan daerah yang mengalami intrusi air laut karena nilai resistivitasnya menunjukkan adanya air asin yang masuk pada akuifer air tanah (Tabel 8), sehingga air tawar berubah menjadi payau. Intrusi air laut yang lebih tinggi terjadi pada daerah Lateri yang tidak memiliki vegetasi mangrove. Daerah ini mengalami intrusi air laut yang ditandai dengan masuknya air asin ke dalam akuifer air tanah pada kedalaman 1,7-12 m. Batuan koral pada daerah Lateri (Gambar 7) menjadi batuan penyusun yang dominan, hal ini membuat air laut mudah melewatinya karena porositas batuan koral hanya 5% serta tidak terdapat mangrove di daerah ini. Air dapat mudah menyusup melewati batuan koral hingga naik sampai ketinggian 5 meter di atas permukaan laut. Hal inilah yang membuat daerah persebaran intrusi air laut daerah Lateri sangat luas (Gambar 6).

Kepadatan pohon mangrove diduga mempengaruhi tingkat intrusi air laut (Noor et al., 1999; Duke, 2001) dan sering digunakan sebagai parameter pada model untuk simulasi intrusi air laut (Hilmi et al., 2017; Teh et al., 2013). Namun, penelitian ini menunjukkan hasil yang berbeda yang mana ketebalan vegetasi dan ukuran pohon mangrove mempengaruhi ada tidaknya intrusi air laut (tingkat resitivitas) pada daerah pesisir (Gambar 7). Hal senada juga terjadi di Kabupaten Subang, Jawa Barat dimana tambak yang terdapat mangrove lebat memiliki nilai DHL (Daya Hantar listrik) dan TDS (*Total Dissolved Solid*) rendah dan masuk kedalam klasifikasi air tawar, sebaliknya tembak yang tidak terdapat mangrove memiliki nilai DHL dan TDS yang tinggi masuk ke dalam klasifikasi air payau (Salim et al., 2017). Ketebalan vegetasi mangrove seperti spons yang berlapis-lapis, berfungsi sebagai filter garam dari air laut sehingga air menjadi tawar (Teh et al., 2013). Sebaliknya, kepadatan mangrove tidak mempengaruhi tingkat intrusi air laut karena kepadatan pohon berkaitan dengan sistem perakaran dan karakterisitik substrat atau sedimen (Naidoo, 2010). Hutan mangrove dengan kepadatan tinggi umumnya memiliki sistem perakaran yang dangkal akibat adanya kompetisi spesies (Duke et al., 1998; Naidoo, 2010).

Ukuran pohon (tinggi dan diameter pohon) juga berpengaruh pada intrusi air laut. Hal tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut. Pertama, semakin besar ukuran pohon mangrove maka pohon tersebut memilki perakaran yang besar dan banyak (Tomlinson, 1986; Naidoo, 2010). Kemampuan beradaptasi tumbuhan mangrove terhadap lingkungan laut dengan membentuk perakaran mampu menahan abrasi dan intrusi air laut (Kitamura, 1997). Kedua, mangrove yang berukuran besar misalnya jenis *Soneratia alba* umumnya memiliki perakaran yang dalam hingga beberapa meter di bawah tanah (Tomlinson, 1986). Akar mangrove bersifat aktif.Meskipun tertimbun oleh lumpur dan atau pasir, akar mangrove ini dapat terus tumbuh dan berfungsi sebagai filter air (Duke, 2001; Tomlinson, 1986). Hal tersebut menunjukan bahwa mangrove dapat menjadi *proxy* untuk kedalaman lempung atau lumpur yang dapat menghambat intrusi air laut. Terakhir, mangrove

dapat meminimalkan intrusi air laut karena adanya penyerapan air laut oleh akar mangrove. Hal tersebut diperkuat oleh sistem ekofisiologis mangrove yang memiliki kelenjar garam dan mampu menimbun garam di vegetasinya (Naidoo, 2010; Duke, 2001). Sebagai contoh, daun mangrove mampu menyerap unsur Na, Cl dan Mg melalui sistem perakarannya yaitu akar nafas, akar lutut atau akar banir dan akar tunjang, sehingga mekanisme tersebut akan dapat mencegah intrusi (perembesan) air laut masuk ke lapisan tanah di daratan (Dahuri, 2001). Namun, penelitian lebih lanjut perlu dilakukan untuk mengetahui efektifitas sistem penyerapan garam oleh mangrove untuk menghambat intrusi air laut.



Gambar 7. Pola resistivitas bawah permukaan lapisan tanah terhadap ketebalan vegetasi mangrove dan diameter pohon mangrove.

Figure 7. Soil layer subsurface resistivity pattern in relation with mangrove thickness and mangrove tree diameters.

Pembahasan di atas menunjukkan bahwa intrusi air laut dipengaruhi karakteristik sedimen dan karakteristik hutan mangrove. Keduanya sama-sama berpengaruh dan sulit menentukan faktor mana yang paling dominan menjadi penentu tingkat intrusi air laut. Kedua faktor tersebut memiliki kontribusi yang komplemen dan saling mendukung. Sebagai contoh, jika batu koral dominan pada suatu daerah pesisir maka daerah tersebut memiliki tingkat intrusi air laut yang tinggi karena permeabilitas koral besar, porositas kecil dan tidak cocok untuk pertumbuhan mangrove yang dapat memfilter intrusi air laut. Sebaliknya, lempung atau lumpur yang merupakan habitat mangrove memiliki permeabilitas kecil dan porositas tinggi sehingga dapat mencegah intrusi air laut dengan baik. Hal tersebut menunjukkan bahwa vegetasi mangrove (ketebalan vegetasi dan ukuran pohon) dapat menjadi indikator atau *proxy* bagi ketebalan dan ke dalam sedimen penyusun berupa lempung yang memiliki porositas tinggi sehingga tidak terjadi intrusi air laut. Penelitian di daerah tropis dan sub-tropis juga menunjukkan bahwa tebal dan tipisnya vegetasi mangrove di suatu tempat dipengaruhi oleh kondisi geomorfologis dan karakteristik substrat atau sedimen di daerah pesisir (Suyadi et al., 2018; Duke et al., 1998). Substrat atau sedimen yang menjadi habitat mangrove umumnya berupa lempung atau lumpur (Suyadi et al., 2019; Duke et al., 1998)

Keberadaan hutan mangrove terbukti dapat meminimalisasi terjadinya intrusi air laut di daerah pesisir. Mangrove juga berfungsi sebagai pelindung pantai dari abrasi, gelombang besar, dan badai (Barbier et al., 2011). Mangrove merupakan habitat bagi berbagai biota laut, serta sebagai penyerap dan penyimpan karbon yang baik (Donato et al., 2011; Buelow & Sheaves, 2015; Ranjan et al., 2011; Tran & Fischer, 2017). Namun, lebih dari 40% hutan mangrove di Indonesia berada dalam kondisi rusak yang disebabkan oleh berbagai aktivitas manusia seperti deforestasi (laju deforestasi berkisar 1 - 3% /tahun), *illegal logging* (laju *illegal logging* sebesar 14% /tahun), dan polusi (Murdiyarso et al., 2015; Olds et al., 2016; Silvestri & Kershaw, 2010).

Kondisi hutan mangrove di Teluk Ambon juga sudah masuk ke dalam kategori rusak dan luasnya semakin berkurang (Suyadi, 2012; Rotua, 2017). Kerusakan hutan mangrove berdampak pada menurunnya fungsi dan manfaatnya termasuk

untuk mitigasi intrusi air laut. Sementara itu, diduga ekstraksi air tanah di daerah ini cukup tinggi dan kualitas air permukaan semakin menurun (Peraturan Daerah Kota Ambon No 9 Tahun 2015; Dirjen Sumberdaya Alam, 2012). Studi lebih lanjut di perlukan untuk membuktikan kebenaran dugaan tersebut dan untuk memberikan justifikasi atas peraturan daerah. Perubahan kualitas air permukaan tanah menjadi air payau tersebut dikonfimasi oleh masyarakat Ambon yang mana wawancara dengan penduduk memberikan informasi bahwa air di sumur mereka berubah menjadi air payau terutama di daerah yang terdapat penebangan atau konversi hutan mangrove menjadi peruntukan lainnya seperti mall dan perumahan. Oleh karena itu, upaya rehabilitasi dan restorasi kawasan pesisir khususnya kawasan ekosistem mangrove perlu dilakukan untuk mengoptimalkan fungsi dan manfaat hutan mangrove. Hasil penelitian ini dapat menjadi *baseline* data dan informasi bagi pemerintah untuk merumuskan kebijakan dan sistem management yang baik termasuk justifikasi untuk melakukan rehabiltiasi dan restorasi kawasan pesisir.

Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa selain karakteristik sedimen, tingkat intrusi air laut ditentukan oleh ketebalan vegetasi mangrove dan ukuran pohon mangrove. Vegetasi hutan mangrove di pulau kecil yang berupa *spot-spot* hutan (*mangrove patches*) memiliki potensi untuk mitigasi intrusi air laut. Hal ini menunjukkan pentingnya peranan mangrove sebagai sabuk hijau pada garis pantai yang bermanfaat untuk mencegah intrusi air laut dan menjaga kualitas air tawar yang menjadi kebutuhan pokok masyarakat. Namun, adanya laju deforestasi hutan mangrove yang tinggi dan kondisi hutan mangrove yang sebagian besar masuk ke dalam kategori rusak (kerapatan pohon jarang dan tutupan kanopi sedang) menyebabkan diperlukannya sistem pengelolaan kawasan pesisir dan hutan mangrove yang lebih efektif, antara lain dengan mempertimbangkan perlunya program rehabilitasi dan restorasi kawasan pesisir khususnya mangrove. Studi lebih lanjut diperlukan untuk mengetahui tingkat atau laju ekstraksi air tawar oleh masyarakat sehingga dapat diketahui efektivitas hutan mangrove dalam mencegah intrusi air laut.

Persantunan

Semua penulis (*author*s) dalam artikel ini memiliki kontribusi yang sama (*equal contribution*). Penulis mengucapkan terima kasih kepada bapak Francy Nendisa, bapak Abraham Simon Leatemia, dan bapak Iwan Naroli yang telah membantu selama pengambilan data di lapangan. Terima kasih juga disampaikan kepada mahasiswa dari Politeknik Perikanan Negeri Tual: Kena Tamnge, Syaiba Ohoirenan, dan Arman Uar yang telah membantu selama pengambilan data di lapangan dan *entry* data.

Daftar Pustaka

Anna, A. N. (2016). Kondisi Air Tanah di Daerah Perkotaan: Problema Antara Kuantitas dan Kualitas Air. *Forum Geografi*, *12*, 49-63. https://doi.org/10.23917/forgeo.v7i1.4797

Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C., & Silliman, B. R. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. In *Ecological Monographs. 81(2).*169-193. https://doi.org/10.1890/10-1510.1

BPK RI. (2007). Undang-Undang Republik Indonesia. Tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. Jakarta, Indonesia. Retrieved from https:// peraturan.bpk.go.id/

BPK RI. (2015). Peraturan Daerah Kota Ambon No 9 Tahun 2015 tentang Pengelolaan Air Tanah. Pemerintah Kota Ambon, Maluku, Indonesia. Retrieved from http:// peraturan.bpk.go.id/

BPS Kota Ambon. (2019). Kota Ambon Dalam Angka Ambon Municipality in Figures 2019. In BPS Kota Ambon (Ed.), *81710.1910*. Ambon: BPS Kota Ambon. Retrieved from http://ambonkota.bps.go.id/

Buelow, C., & Sheaves, M. (2015). A birds-eye view of biological connectivity in mangrove systems. In *Estuarine, Coastal and Shelf Science, 152,* 33-43. https://doi.org/ 10.1016/j.ecss.2014.10.014

Choudhury, K., Saha, D. K., & Chakraborty, P. (2001). Geophysical study for saline water intrusion in a coastal alluvial terrain. *Journal of Applied Geophysics, 46(3),* 189-200. https://doi.org/10.1016/S0926-9851(01)00038-6

Cobb, S. M., Eliot, M., Eliot, I., Hall, R., Saynor, M. J., Eliot, M., Hall, R., Eliot, I., & Hall, R. (2007). Saltwater int*rusion and mangrove encroachment of coastal wetlands in the Alligator Rivers Region, Northern Territory, Australia* (49p). Darwin: Australia Supervising Scientist.

Costall, A., Harris, B., & Pigois, J. P. (2018). Electrical Resistivity Imaging and the Saline Water Interface in High-Quality Coastal

Aquifers. *Surveys in Geophysics*, *39*, 753-816 https://doi.org/10.1007/s10712-018-9468-0

Dahuri, R. (2001). Pengelolaan Ruang Wilayah Pesisir Dan Lautan Seiring Dengan Pelaksanaan Otonomi Daerah. *Jurnal Sosial Dan Pembangunan*, *17(2)*, 139-171 https://doi.org/https://doi.org/10.29313/mimbar.v17i2.38

Dharmawan, I. W.E. & Pramudji. (2017). *Panduan Pemantauan Komunitas Mangrove.Edisi 2. Coral Reef Rehabilitation and Management Program (COREMAP)*. Jakarta: Pusat Penelitian Oseanografi – LIPI.

Dirjen Sumberdaya Alam, Kementrian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. (2012). *Pengelolaan Sumber Daya Air di Wilayah Ambon.* Kementrian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. Jakarta: Indonesia.

Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience, 4(5),* 293-297. https://doi.org/10.1038/ngeo1123

Duke, N. C. (2001). Gap creation and regenerative processes driving diversity and structure of mangrove ecosystems. *Wetlands Ecology and Management, 9(3)*, 267-279. https://doi.org/10.1023/A:1011121109886

Duke, N. C., Ball, M. C., & Ellison, J. C. (1998). Factors influencing biodiversity and distributional gradients in mangroves. *Global Ecology and Biogeography Letters*, *7*, 27-47. https://doi.org/10.2307/2997695

English, S., Wilkinson, C., & Baker, V. (1997). Survey manual for tropical marine resources. In *Townsville Australian Institute of Marine Science* (390p). Townsville: Townsville Mail Centre.

Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L. L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., Masek, J., & Duke, N. (2011). Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography, 20(1),* 154-159. https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x

Hilmi, E., Kusmana, C., Suhendang, E., & Iskandar. (2017). Correlation Analysis Between Seawater Intrusion and Mangrove Greenbelt. *Indonesian Journal of Forestry Research, 4(2),* 151-168. https://doi.org/10.20886/ijfr.2017.4.2.151-168

Kitamura, Shozo, Chairil Anwar, Amoyos Chaniago dan Shigeyuki Baba. (1997). *Handbook of Mangrove in Indonesia (Edisi ke-3). Translated by: Mangrove Information Center Project.* Denpasar: Balai Pengelolaan Hutan Mangrove Wilayah 1, Mangrove Information Center Project.

KLHK. (2005). Keputusan Menteri Lingkungan Hidup RI No. 201 Tahun (2004). Tentang Kriteria Baku dan Pedoman Penentuan Kerusakan Mangrove. Menteri Negara Lingkungan Hidup. Retrieved from http://perpustakaan.menlhk.go.id/

Linsley, Ray, K. & Franzini, J. (2016). *Teknik Sumber Daya Air*. Jakarta: Erlangga.

Loke, M. H. (2000). *Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies - A Practical Guide to 2-D and 3-D Surveys*. England: Birmingham University.

Loke, M. H. (2004). Rapid 2-D Resistivity & IP inversion using the least-squares method. *Manual for Res2dinv Ver. 3.54*. Retrieved from http//geoelectrical.com/

Murdiyarso, D., Purbopuspito, J., Kauffman, J. B., Warren, M. W., Sasmito, S. D., Donato, D. C., Manuri, S., Krisnawati, H., Taberima, S., & Kurnianto, S. (2015). The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation. *Nature Climate Change, 5(12),* 1089-1092. https://doi.org/10.1038/nclimate2734

Naidoo, G. (2010). Ecophysiological differences between fringe and dwarf Avicennia marina mangroves. *Trees - Structure and Function, 24(4),* 667-673. https://doi.org/10.1007/s00468-010-0436-7

Noor, Y.R., M. Khazali & I.N.N. Suryadiputra.(1999). *Panduan Pengenalan Mangrove di Indonesia* (220 halaman). Bogor: Ditjen PHKA.

Ohello, M. (2010). Kondisi Lingkungan Perairan Teluk Ambon Dalam dan Hubungannya dengan Perilaku Masyarakat. *Tesis*. Institut Pertanian Bogor.

Olds, A. D., Connolly, R. M., Pitt, K. A., Pittman, S. J., Maxwell, P. S., Huijbers, C. M., Moore, B. R., Albert, S., Rissik, D., Babcock, R. C., & Schlacher, T. A. (2016). Quantifying the conservation value of seascape connectivity: A global synthesis. *Global Ecology and Biogeography, 25(1), 3-15*. https://doi.org/10.1111/geb.12388

Park, S. G., Asano, S., Matsuura, S., Okamoto, T., & Kim, J. H. (2005). Geoelectrical laboratory and field studies of groundwater occurrence in a landslide area: A case study from Japan. *Exploration Geophysics, 58(1),*86-91. https://doi.org/10.1071/EG05086

Peng, S., & Zhang, J. (2007). Engineering geology for underground rocks. *Engineering Geology for Underground Rocks* (317p). New York:

Springrer Berlin Heidelberg.

Priambodo, I. C., Purnomo, H., & Rukmana, N. (2011). Aplikasi Metoda Geolistrik Konfigurasi Wenner-Schlumberger pada Survey Gerakan Tanah di Bajawa, NTT. *Bulletin Vulkanologi Dan Bencana Geologi,* 1-10.

Pujianiki, N. N., & Simpen, I. N. (2018). Aplikasi Geolistrik pada Pemetaan Daerah Intrusi Air Laut di Pantai Candidasa. *Media Komunikasi Teknik Sipil, 24(1),* 29-34. https://doi.org/10.14710/mkts.v24i1.17574

Purba, N. P. dan Harahap, S. A. (2013). *Pulau-pulau kecil Indonesia dalam Perspektif Kelautan, Edisi Biawak-Gosong-Candikian* (47 halaman). Bandung: Unpad Press.

Ranjan, R. K., Routh, J., Ramanathan, A. L., & Klump, J. V. (2011). Elemental and stable isotope records of organic matter input and its fate in the Pichavaram mangrove-estuarine sediments (Tamil Nadu, India). *Marine Chemistry, 126(1-4),* 163-172. https://doi.org/10.1016/j.marchem.2011.05.005

Reynolds, J. M. (1997). *An introduction to applied and environmental geophysics* (726p). New York: Wiley and Sons.

Rotua, P. J. (2017). Kajian Vegetasi Mangrove di Teluk Ambon Dalam dengan Menggunakan Teknik Penginderaan Jarak Jauh. *Skripsi*. Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Universitas Pattimura, Ambon, Maluku Indonesia

Salim, A. G., Siringoringo, H. H., & Narendra, B. H. (2017). Pengaruh Penutupan Mangrove Terhadap Perubahan Garis Pantai dan Intrusi Air Laut di Hilir Das Ciasem dan Das Cipunegara, Kabupaten Subang (Effect of Mangrove Vegetation Cover to the Shoreline Change and Seawater Intrusion at Downstream of Ciasem). *Jurnal Manusia Dan Lingkungan, 23(3),* 319-326. https://doi.org/10.22146/jml.18805

Silvestri, S., & Kershaw, F. (2010). *Framing the flow: innovative approaches to understand, protect and value ecosystem services across linked habitats* (62p). Cambridge, UK: UNEP World Conservation Monitoring Centre.

Spalding, M. (2010). *World Atlas of Mangroves*, 319pp. London: Earthscan

Suyadi.(2012). A Decade of Condition of Mangrove Forest in Ambon Bay, Maluku, Indonesia. *Jurnal Biologi Indonesia*. 8(1): 197 – 203.

Suyadi, Gao, J., Lundquist, C. J., & Schwendenmann, L. (2018). Characterizing landscape patterns in changing mangrove ecosystems at high latitudes using spatial metrics. *Estuarine, Coastal and Shelf Science, 215,* 1-10. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.10.005

Suyadi, Gao, J., Lundquist, C. J., & Schwendenmann, L. (2019). Land-based and climatic stressors of mangrove cover change in the Auckland Region, New Zealand. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 29(9), 1-18 https://doi.org/10.1002/aqc.3146

Teh, S. Y., Koh, H. L., DeAngelis, D. L., & Turtora, M. (2013). Interaction between salinity intrusion and vegetation succession: A modeling approach. *Theoretical and Applied Mechanics Letters, 3(3)*. https://doi.org/10.1063/2.1303201

Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Telford - Applied Geophysics* (741p). Cambridge: Cambridge University Press.

Tomlinson, P. B. (1986). *The Botany of Mangroves* (413p). Cambridge: Cambridge University Press.

Tran, L. X., & Fischer, A. (2017). Spatiotemporal changes and fragmentation of mangroves and its effects on fish diversity in Ca Mau Province (Vietnam). *Journal of Coastal Conservation*, *21*, 355-368. https://doi.org/10.1007/s11852-017-0513-9

Lampiran

Tabel L1. Variasi nilai resistivitas dari berbagai jenis material (Telford et al., 1990).
Table L1. Variation of Resistivity Value from various types of materials (Telford et al., 1990).

Material	Resistivity (Ohm.m)
Air	0
Quartz	500 - 800.000
Calcite	10^{12} - 10^{13}
Rock Salt	30 x 10^{13}
Granite	200 - 100.000
Basalt	200 - 100.000
Limestones	500 - 10.000
Sandstones	200 - 8.000
Shales	200 - 20.000
Sand	1 - 1000
Clay	1 - 100
Ground Water	0,5 - 300
Sea Water	0,2
Dry Gravel	600 – 10.000
Alluvium	10 - 800
Gravel	100 - 600
Air in the alluvial aquifers	20 - 30
Sand submerged in fresh water	50 – 5x10^2
Sand submerged in sea water	0.5 - 5