

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

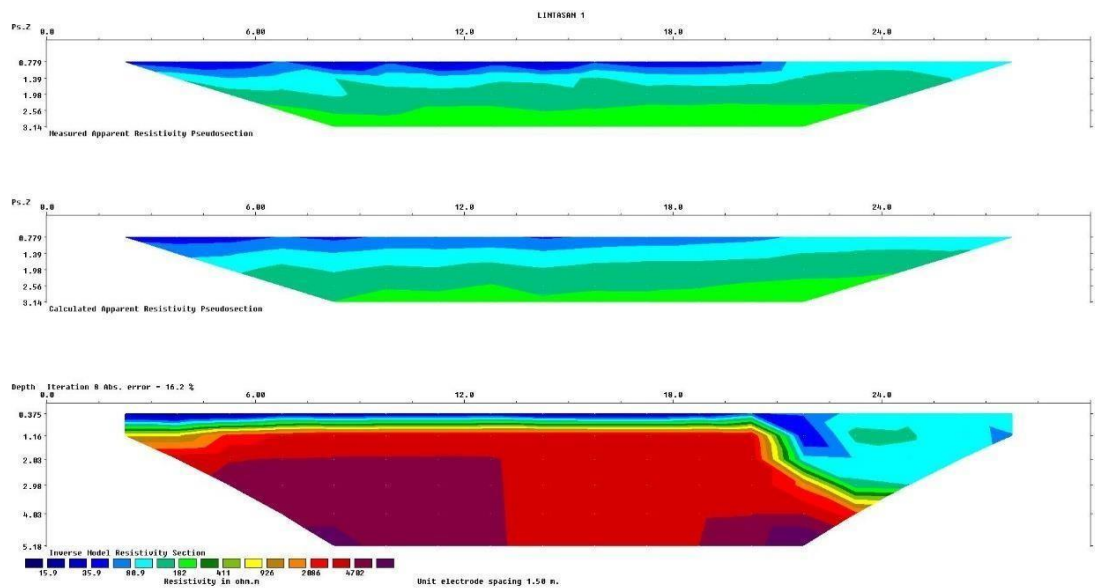
4.1 Hasil

Penelitian mengenai “Identifikasi Intrusi Air Laut Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas 2D Di Kecamatan Puger, Kabupaten Jember” bertujuan untuk menentukan sebaran resistivitas bawah permukaan di wilayah pesisir Kecamatan Puger dengan menggunakan metode geolistrik 2D konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dan untuk mengidentifikasi area terintrusi air laut berdasarkan nilai resistivitas. Penelitian ini dilakukan di desa Mojomulyo, Kecamatan Puger, Kabupaten Jember pada bulan Februari 2026. Pengumpulan data dilakukan pada empat lintasan di lokasi yang berbeda. Pemilihan keempat lintasan tersebut bertujuan untuk mengidentifikasi penyebaran intrusi air laut di kawasan pesisir Puger.

Berdasarkan penelitian yang sudah dilaksanakan dengan pengumpulan data menggunakan metode geolistrik resistivitas konfigurasi *Wenner – Schlumberger* diperoleh data berupa nilai arus listrik (I) dan tegangan (V) yang selanjutnya data ini diolah menggunakan *microsoft excel* guna mendapatkan nilai datum *point*, faktor geometri (K), hambatan (R) dan resistivitas semu (ρ_a). Setelah itu, nilai yang diperoleh tersebut diolah menggunakan *software notepad* dan disimpan menggunakan format **txt*. Langkah berikutnya adalah data diolah dengan bantuan *software Res2dinv* guna menyajikan tampilan struktur di bawah permukaan dengan pemodelan 2 dimensi (2D) yang menampilkan citra warna, kedalaman, nilai konduktivitas dan nilai resistivitas yang berbeda-beda berdasarkan batuan penyusunnya. Berikut merupakan tampilan pemodelan 2 dimensi (2D) menggunakan *software Res2dinv* pada lintasan 1 sampai dengan lintasan 4 :

4.1.1 Lintasan Pertama

Lintasan yang pertama terletak pada koordinat $8^{\circ}23'00.98''S$ - $113^{\circ}24'50.79''E$ sampai $8^{\circ}23'00.60''S$ - $113^{\circ}24'51.52''E$ yang bergerak secara horizontal dari arah barat ke timur. Lintasan yang diambil memiliki panjang 30 meter dengan jarak antara elektroda (a) sebesar 1,5 meter dan pengulangan (n) 5 kali. Citra sebaran nilai resistivitas yang ada di bawah permukaan tanah untuk lintasan 1 ditunjukkan pada gambar 4.1



Gambar 4. 1 Citra sebaran nilai resistivitas bawah permukaan pada lintasan 1

Pada gambar 4.1 terlihat bahwa pada lintasan 1 menampilkan nilai resistivitas pada rentang 15,9 Ωm sampai dengan 4702 Ωm yang ditandai dengan warna biru tua hingga warna ungu. Berdasarkan citra sebaran nilai resistivitas tersebut, kedalaman maksimal yang diperoleh dari penelitian ini adalah 5,18 meter, iterasi dilakukan sebanyak 8 kali serta nilai *error* 16,2%. Berikut hasil analisis struktur bawah permukaan pada lintasan 1 yang ditunjukkan pada tabel 4.1 :

Tabel 4.1 Hasil Analisis Struktur Bawah Permukaan Pada Lintasan 1

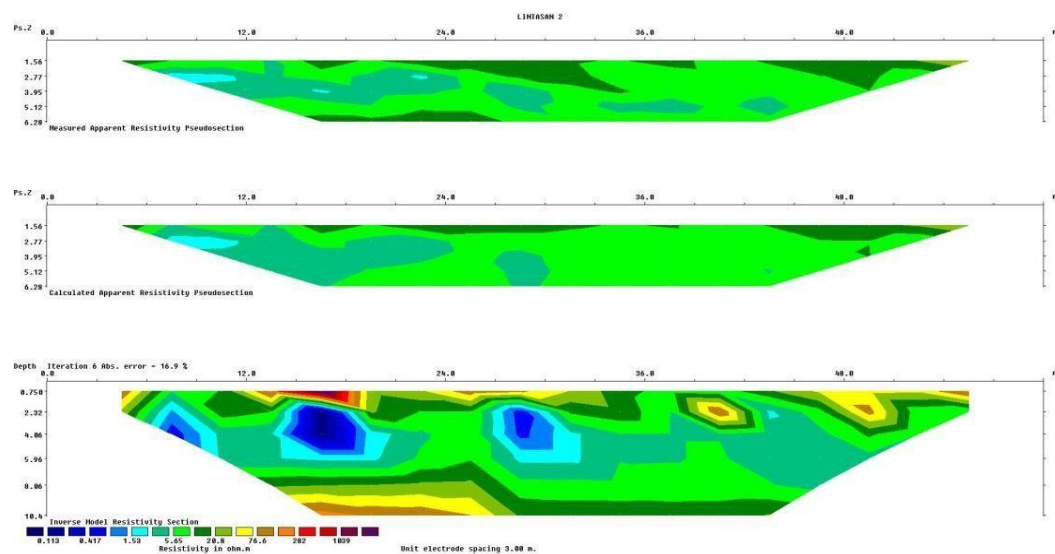
Indikator Warna	Nilai Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (m)	Material
 — 	15,9 – 35,9	0,375 – 1,16	Pasir
 — 	80,9 – 182	0,375 – 2,98	Lempung berpasir
 — 	411 – 926	1,16 – 4,03	Kerikil
 — 	2086 – 4702	1,16 – 5,18	Batuan kompak

Berdasarkan gambar 4.1 dan tabel 4.1 yang merupakan hasil pendistribusian nilai resistivitas pada lintasan 1 yakni didapatkan kisaran nilai resistivitas 15,9 Ωm – 4702 Ωm . Identifikasi pada kedalaman 0,375 meter memiliki nilai resistivitas sekitar 15,9 Ωm yang ditampilkan dengan warna biru tua yang menginterpretasikan material air payau. Identifikasi pada kedalaman 0,375 – 1,16 meter memiliki nilai resistivitas sekitar 35,9 Ωm yang ditunjukkan dengan warna biru yang menunjukkan material pasir. Identifikasi pada kedalaman 0,375 – 2,98 meter yang memiliki nilai resistivitas

sekitar $80,9 - 182 \Omega\text{m}$ yang ditampilkan dengan warna biru muda – hijau muda yang menunjukkan material lempung berpasir. Identifikasi pada kedalaman $1,16 - 4,03$ meter memiliki nilai resistivitas sekitar $411 - 926 \Omega\text{m}$ yang ditampilkan dengan warna hijau tua – oranye dan menunjukkan material kerikil. Identifikasi pada kedalaman $1,16 - 5,18$ meter memiliki nilai resistivitas sekitar $2086 - 4702 \Omega\text{m}$ yang ditunjukkan dengan warna merah – ungu yang menunjukkan material batuan kompak.

4.1.2 Lintasan Kedua

Lintasan kedua terletak pada koordinat $8^{\circ}23'0.41''\text{S} - 113^{\circ}24'49.32''\text{T}$ hingga $8^{\circ}22'59.81''\text{S} - 113^{\circ}24'50.54''\text{T}$ yang bergerak secara horizontal dari arah barat ke timur. Panjang lintasan yang digunakan ialah 60 meter dengan menggunakan spasi antar elektroda (a) 3 meter dan pengulangan (n) 5 kali. Citra sebaran nilai resistivitas bawah permukaan bumi pada lintasan 2 disajikan pada gambar 4.2



Gambar 4. 2 Citra sebaran nilai resistivitas bawah permukaan pada lintasan 2

Pada gambar 4.2 ditunjukkan bahwa pada lintasan 2 memiliki nilai resistivitas pada rentang $0,113 \Omega\text{m}$ sampai dengan $1039 \Omega\text{m}$ yang ditampilkan dengan warna biru tua hingga warna ungu. Berdasarkan citra sebaran nilai resistivitas tersebut, kedalaman maksimal yang diperoleh dari penelitian ini adalah 10,4 meter, iterasi dilakukan sebanyak 6 kali serta nilai *error* 16,9%. Berikut hasil analisis struktur bawah permukaan pada lintasan 2 yang ditunjukkan pada tabel 4.2:

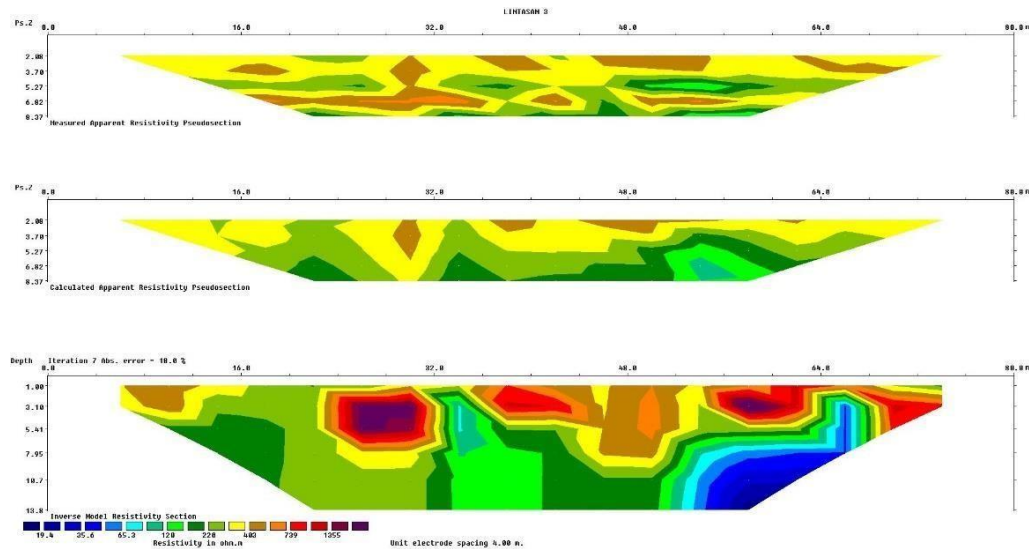
Tabel 4.2 Hasil Analisis Struktur Bawah Permukaan Pada Lintasan 2

Indikator Warna	Nilai Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (m)	Material
 — 	0,113 – 0,417	2,32 – 4,06	Lempung tercampur air laut
 — 	1,53 – 5,65	0,750 – 8,06	Lempung
 — 	20,8 – 76,6	0,750 – 10,4	Lempung pasir
 — 	282 – 1039	0,750 – 2,32	Pasir dan kerikil

Berdasarkan gambar 4.2 dan tabel 4.2 yang merupakan hasil pendistribusian nilai resistivitas pada lintasan 2 yakni didapatkan kisaran nilai resistivitas 0,113 Ωm – 0,417 Ωm . Identifikasi pada kedalaman 2,32 – 4,06 meter memiliki nilai resistivitas sekitar 0,113 – 0,417 Ωm yang ditunjukkan dengan warna biru tua – biru muda yang menunjukkan material lempung yang tercampur air laut. Identifikasi pada kedalaman 0,750 – 8,06 meter memiliki nilai resistivitas sekitar 1,53 – 5,65 Ωm yang ditunjukkan dengan warna toska – hijau muda yang menunjukkan material lempung. Identifikasi pada kedalaman 0,750 – 10,4 meter memiliki nilai resistivitas sekitar 20,8 – 76,6 Ωm yang ditunjukkan dengan warna hijau tua – oranye yang menunjukkan material lempung pasir. Identifikasi pada kedalaman 0,750 – 2,32 meter memiliki nilai resistivitas sekitar 282 – 1039 Ωm yang ditunjukkan dengan warna merah – ungu yang menunjukkan material pasir dan kerikil.

4.1.3 Lintasan Ketiga

Lintasan ketiga terletak pada koordinat 8°22'58.87"S - 113°24'49.46"T hingga 8°22'57.78"S - 113°24'51.78"T yang bergerak secara horizontal dari arah barat ke timur. Panjang lintasan yang digunakan yaitu 80 meter dengan menggunakan jarak antar elektroda 4 meter dan pengulangan (n) 5 kali. Citra sebaran nilai resistivitas bawah permukaan bumi pada lintasan 3 disajikan pada gambar 4.3



Gambar 4. 3 Citra sebaran nilai resistivitas bawah permukaan pada lintasan 3

Pada gambar 4.3 terlihat bahwa lintasan 3 memiliki nilai resistivitas dalam rentang $19,4 \Omega\text{m}$ hingga $1355 \Omega\text{m}$ yang digambarkan dengan warna biru tua hingga warna ungu. Berdasarkan citra sebaran nilai resistivitas tersebut, kedalaman maksimal yang diperoleh dari penelitian ini adalah 13,8 meter, iterasi yang dilakukan sebanyak 7 kali serta nilai *error* 18,0%. Berikut hasil analisis struktur bawah permukaan pada lintasan 3 yang disajikan pada tabel 4.3 :

Tabel 4.3 Hasil Analisis Struktur Bawah Permukaan Pada Lintasan 3

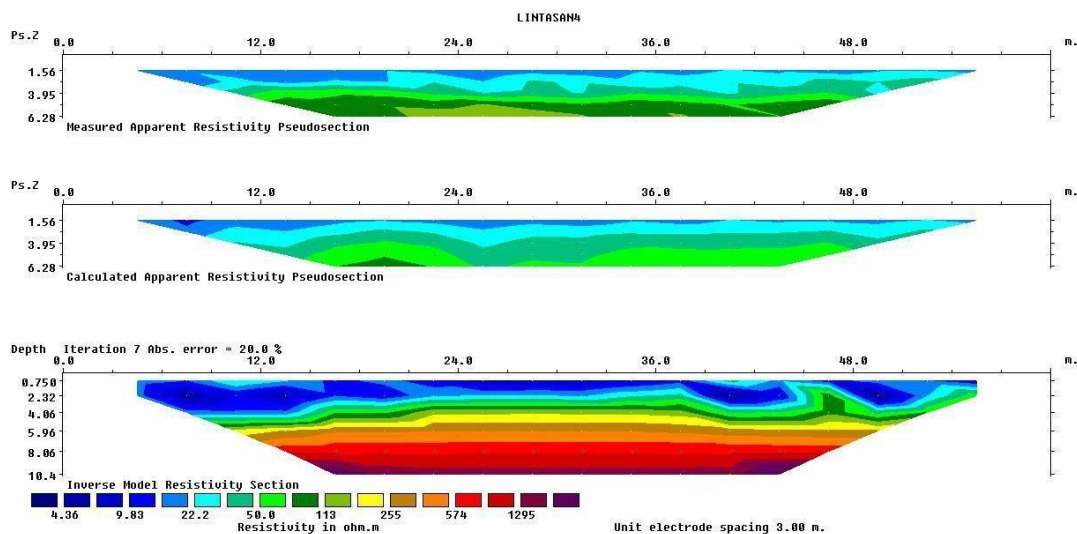
Indikator Warna	Nilai Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (m)	Material
 — 	19,4 – 35,6	10,7 – 13,8	Lanau tercampur air payau
 — 	65,3 – 120	3,10 – 7,95	Tanah lanau pasiran
 — 	220 – 403	1,00 – 13,8	Lempung berpasir
 — 	739 – 1355	1,00 – 5,41	Batuan Kompak

Berdasarkan gambar 4.3 dan tabel 4.3 yang merupakan hasil pendistribusian nilai resistivitas pada lintasan 3 yakni didapatkan kisaran nilai resistivitas $19,4 \Omega\text{m}$ – $35,6 \Omega\text{m}$. Identifikasi pada kedalaman 10,7 – 13,8 meter mempunyai nilai resistivitas sekitar $19,4 – 35,6 \Omega\text{m}$ yang ditampilkan dengan warna biru tua – biru yang menunjukkan material pasir tercampur air payau. Identifikasi pada kedalaman 3,10 – 7,95 meter mempunyai nilai resistivitas sekitar $65,3 – 120 \Omega\text{m}$ yang ditunjukkan dengan warna toska - hijau muda yang menunjukkan material tanah lanau pasiran. Identifikasi kedalaman 1,00 – 13,8 meter memiliki nilai resistivitas

sekitar 220 – 403 Ωm yang ditunjukkan dengan warna hijau tua - oranye yang menunjukkan material lempung berpasir. Identifikasi pada kedalaman 1,00 – 5,41 meter memiliki nilai resistivitas sekitar 739 – 1355 Ωm yang ditunjukkan dengan warna merah – ungu yang menunjukkan material batuan kompak.

4.1.4 Lintasan Keempat

Lintasan keempat terletak pada koordinat 8°22'58.87"S - 113°24'49.46"T hingga 8°22'57.78"S - 113°24'51.78"T yang bergerak secara horizontal dari barat ke timur. Panjang lintasan yang digunakan mencapai 60 meter dengan menggunakan jarak antara elektroda sejauh 3 meter. Citra sebaran nilai resistivitas bawah permukaan bumi pada lintasan 4 ditunjukkan pada gambar 4.4



Gambar 4. 4 Citra sebaran nilai resistivitas bawah permukaan pada lintasan 4

Pada gambar 4.4 ditunjukkan bahwa pada lintasan 4 mempunyai nilai resistivitas berada dalam rentang 4,36 Ωm sampai 1295 Ωm yang ditunjukkan dengan warna biru tua hingga warna ungu. Berdasarkan citra sebaran nilai resistivitas tersebut, kedalaman maksimal yang diperoleh dari penelitian ini adalah 10,4 meter, iterasi 7 kali serta nilai *error* 20,0 %. Nilai *error* yang relatif tinggi ini diduga disebabkan oleh kondisi bawah permukaan yang heterogen, kontak elektroda yang kurang optimal, serta noise selama pengukuran lapangan. Berikut hasil analisis struktur bawah permukaan pada lintasan 4 yang ditunjukkan pada tabel 4.4 :

Tabel 4.4 Hasil Analisis Struktur Bawah Permukaan Pada Lintasan 4

Indikator Warna	Nilai Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (m)	Material
 — 	4,36 – 22,2	0,75 – 4,36	Lempung
 — 	22,2 – 113	1,56 – 5,96	lempung pasir
 — 	255 – 574	5,96 - 8,06	Kerikil
 — 	574 – 1295	8,06 - 10,4	Batuan kompak

Berdasarkan gambar 4.4 dan tabel 4.4 yang merupakan hasil pendistribusian nilai resistivitas pada lintasan 4 yakni didapatkan kisaran nilai resistivitas 4,36 Ωm – 1295 Ωm . Identifikasi pada kedalaman 0,75 – 2,32 meter memiliki nilai resistivitas sekitar 4,36 Ωm yang ditampilkan dengan warna biru tua – biru yang menunjukkan material air payau. Identifikasi pada kedalaman 0,75 – 4,36 meter memiliki nilai resistivitas sekitar 9,83 – 22,2 Ωm yang ditunjukkan dengan warna biru - toska yang menunjukkan material lempung jenuh air. Identifikasi pada kedalaman 1,56 – 4,36 meter memiliki nilai resistivitas sekitar 22,2 – 50,0 Ωm yang ditunjukkan dengan warna toska – hijau muda yang menunjukkan material lempung pasir. Identifikasi pada kedalaman 4,36 – 5,96 meter memiliki nilai resistivitas sekitar 50,0 – 113 Ωm yang ditampilkan dengan warna hijau muda – hijau tua yang menunjukkan material pasir. Identifikasi pada kedalaman 5,96 - 8,06 meter memiliki nilai resistivitas sekitar 255 – 574 Ωm yang ditunjukkan dengan warna kuning – oranye yang menunjukkan material kerikil. Identifikasi pada kedalaman 8,06 - 10,4 meter memiliki nilai resistivitas sekitar 574 – 1295 Ωm yang ditunjukkan dengan warna merah – ungu yang menunjukkan material batu pasir.

4.2 Pembahasan

Identifikasi struktur bawah permukaan dengan pemodelan 2 dimensi melalui penggunaan *software* Res2dinv pada masing – masing lintasan menginterpretasikan bawah permukaan wilayah pesisir Kecamatan Puger yang beragam. Berdasarkan pengelolaan 2 dimensi menghasilkan rentang nilai resistivitas keseluruhan yaitu 0,113 Ωm hingga 4703 Ωm , dengan material yang berbeda di keempat lintasan. Variasi nilai resistivitas ini mengindikasikan adanya perbedaan jenis material serta tingkat kejenuhan fluida, khususnya keberadaan air laut, air payau, dan air tanah. Penelitian oleh Karmadi *et al.*,(2025) menyatakan bahwa nilai resistivitas sangat rendah pada daerah kawasan pesisir umumnya berkaitan dengan intrusi air laut akibat tingginya kandungan ion terlarut. Pada lintasan 1 diperoleh rentang nilai

resistivitas sebesar $15,9 \Omega\text{m} - 4702 \Omega\text{m}$ dengan nilai *error* sebesar 16,2 % yang menunjukkan bahwa model penampang sudah cukup merepresentasikan kondisi bawah permukaan. Distribusi nilai resistivitas memperlihatkan adanya tiga zona, yaitu lapisan resistivitas rendah ($15,9 - 80,9 \Omega\text{m}$) yang berada pada kedalaman dangkal sekitar 0–2 meter yang diinterpretasikan sebagai material pasir dan lempung berpasir, lapisan resistivitas sedang ($80,9 - 926 \Omega\text{m}$) yang berpotensi sebagai akuifer karena tersusun oleh material berpori seperti pasir, serta lapisan resistivitas tinggi ($926 - 4702 \Omega\text{m}$) pada kedalaman lebih dari 3 meter yang mengindikasikan keberadaan batuan kompak. Selain itu pada bagian kanan lintasan sekitar jarak 22 – 30 meter terlihat adanya perbedaan material penyusun bawah permukaan, zona tersebut diinterpretasikan sebagai zona yang menunjukkan tahap awal dari intrusi air laut. Lapisan penyusun berupa lempung berpasir yang menunjukkan karakteristik sedimen aluvial. Hal ini sesuai dengan penelitian Masitoh *et al.*, (2024) yang menyebutkan bahwa akuifer aluvial memiliki kerentanan tinggi terhadap intrusi air laut, terutama pada zona transisi antara material lempung dan pasir. Kondisi tersebut terdapat kesesuaian dengan dengan kondisi di lintasan 1 yang berada di dekat muara sungai dan didominasi oleh material berpasir. Sedimen pasir memiliki permeabilitas tinggi sehingga memungkinkan air laut mudah meresap kedalam tanah. Hal ini memperkuat interpretasi adanya dugaan intrusi tahap awal.

Pada lintasan 2 diperoleh nilai resistivitas sangat rendah yaitu $0,113 \Omega\text{m} - 1039 \Omega\text{m}$, yang merupakan indikasi adanya dugaan intrusi air laut. Distribusi resistivitas memperlihatkan dominasi lapisan resistivitas rendah ($0,1 - 20 \Omega\text{m}$) yang tersebar pada kedalaman sekitar 2-6 meter, terutama pada jarak sekitar 10-20 meter dan 25-35 meter yang diinterpretasikan sebagai material lempung yang tercampur air laut. Diduga material lempung yang tercampur air laut sudah ada indikasi intrusi air laut karena nilai resistivitas yang rendah. Nilai resistivitas $< 1 \Omega\text{m}$ menunjukkan keberadaan air laut. Nilai resistivitas yang sangat rendah pada lintasan 2 menunjukkan adanya zona dengan konduktivitas tinggi. Kondisi ini berkaitan dengan tingginya salinitas fluida dalam pori batuan akibat keberadaan air laut. Semakin tinggi kandungan ion terlarut pada fluida, maka semakin mudah arus listrik mengalir sehingga nilai resistivitas menjadi semakin rendah. Hal ini diperkuat oleh penelitian Martins *et al.*, (2025) yang menyatakan bahwa intrusi air laut di wilayah pesisir ditandai dengan resistivitas sangat rendah ($< 1 \Omega\text{m}$) dan menyebar pada kedalaman dangkal hingga menengah.

Pada lintasan 3 diperoleh rentang resistivitas $19,4 \Omega\text{m} - 1335 \Omega\text{m}$ dengan kedalaman maksimum 13,8 meter. Zona resistivitas rendah sebesar $19,4 - 35,6 \Omega\text{m}$ pada kedalaman 10,7 – 13,8 meter diinterpretasikan sebagai material lanau yang tercampur air payau, sehingga mengindikasikan adanya pengaruh intrusi air laut pada lapisan akuifer bawah permukaan karena material pasir memiliki permeabilitas tinggi yang memungkinkan air payau mengisi pori-pori batuan. Hal ini menunjukkan bahwa intrusi air laut dapat menjalar hingga akuifer dalam. Penelitian Masitoh *et al.*, (2024) juga menemukan bahwa intrusi air laut di kawasan pesisir Jawa Timur dapat mencapai kedalaman lebih dari 10 meter, tergantung pada kondisi geologi dan tekanan hidrolik. Pada kedalaman 1,00 – 13,8 meter ditemukan nilai resistivitas sebesar $220 - 403 \Omega\text{m}$ yang diinterpretasikan sebagai lempung berpasir yang bersifat lebih kompak dan dapat menghambat pergerakan air, sehingga menyebabkan distribusi intrusi air laut tidak merata. Zona resistivitas tinggi sebesar $739 - 1355 \Omega\text{m}$ pada kedalaman 1,00 – 5,41 meter diinterpretasikan sebagai batuan kompak dengan kandungan air yang sangat sedikit. Interpretasi tersebut sesuai dengan kondisi lapangan yang berada di depan rumah warga, dan berdasarkan informasi adanya variasi kualitas air sumur, dimana sebagian sumur payau dan sebagian tidak. Hasil geolistrik sesuai dengan kondisi lapangan yang menunjukkan adanya indikasi intrusi yang tidak merata. Selain itu, selama pengukuran ditemukan beberapa titik dengan tanah sangat keras, sehingga sulit dilakukan penancapan elektroda. Kondisi ini mengindikasikan adanya lapisan kompak seperti kerikil atau batuan, yang sesuai dengan nilai resistivitas tinggi pada hasil interpretasi.

Pada lintasan 4 diperoleh nilai resistivitas $4,36 \Omega\text{m} - 1295 \Omega\text{m}$, dengan indikasi air payau pada kedalaman dangkal (0,75 – 2,32 meter). Hal ini menunjukkan tingkat kerentanan yang tinggi terhadap intrusi. Zona ini diikuti oleh lapisan lempung jenuh air yang menunjukkan adanya proses pencampuran. Penelitian Asih *et al.*, (2025) menyatakan bahwa daerah pesisir dengan dominasi litologi lanau dan lempung memiliki kecenderungan tinggi terhadap intrusi air laut karena sifat difusinya terhadap ion logam. Berdasarkan kondisi di lapangan, lintasan ini berada di dekat sungai dan rawa yang diduga merupakan area hasil kerukan sungai. Material hasil kerukan umumnya berupa campuran pasir, lempung, dan kerikil yang belum terkonsolidasi dengan baik.

Secara keseluruhan, keempat lintasan menunjukkan adanya indikasi intrusi air laut dengan karakteristik yang berbeda-beda. Lintasan 2 dan lintasan 4 menunjukkan adanya indikasi intrusi pada kedalaman yang lebih dominan pada kedalaman dangkal, sedangkan lintasan 3 menunjukkan adanya indikasi intrusi pada kedalaman yang lebih dalam. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi geologi daerah setempat, jarak terhadap garis pantai, serta sifat litologi penyusun bawah permukaan. Material penyusun bawah permukaan pada daerah penelitian didominasi oleh lempung, lempung berpasir, pasir, kerikil, dan batu pasir atau batuan kompak, yang merupakan karakteristik umum sedimen aluvial khas daerah pesisir pantai. Berdasarkan Telford *et al.*, (1990), nilai resistivitas rendah mengindikasikan fluida konduktif, sedangkan nilai resistivitas tinggi menunjukkan material kompak. Penelitian Rustan *et al.*, (2024) menyatakan bahwa kombinasi material berpori seperti pasir dan kerikil dengan lapisan lempung sebagai penutup menciptakan sistem akuifer yang rentan terhadap intrusi air laut.

Selain hasil interpretasi yang telah diperoleh, penelitian ini juga menghadapi beberapa kendala selama proses akuisisi data di lapangan. Kendala utama yang ditemui yaitu faktor cuaca yang kurang mendukung, sehingga mempengaruhi kestabilan pengukuran resistivitas. Selain itu, terdapat gangguan teknis pada alat berupa kondisi alat yang tiba-tiba tidak dapat digunakan atau mengalami konsleting, yang menyebabkan pengambilan data harus dihentikan sementara. Kendala lainnya adalah kondisi litologi permukaan yang didominasi oleh batuan keras pada beberapa titik lintasan. Hal ini berpotensi menyebabkan kontak elektroda dengan tanah kurang optimal, yang dapat mempengaruhi kualitas data dan menimbulkan *noise* pada hasil pemodelan.

Di samping kendala tersebut, penelitian ini juga mengalami beberapa batasan. Salah satu batasan utama yaitu proses akuisisi data yang hanya menggunakan lintasan 2 dimensi (2D), sehingga model yang dihasilkan belum bisa menunjukkan gambaran kondisi di bawah permukaan secara menyeluruh. Padahal, penggunaan pemodelan 3 dimensi (3D) dapat memberikan visualisasi yang lebih detail terkait sebaran intrusi air laut baik secara lateral maupun vertikal. Keterbatasan ini menyebabkan interpretasi yang dilakukan masih bersifat pendekatan berdasarkan nilai resistivitas dan referensi literatur sehingga diperlukan data pendukung seperti data pengeboran, maupun pengujian kualitas air tanah untuk meningkatkan akurasi interpretasi, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut dengan menerapkan metode akuisisi data 3D guna mendapatkan hasil yang lebih tepat.