

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya kebutuhan air tanah dapat menyebabkan turunnya muka air tanah secara signifikan. Penurunan ini tidak hanya mengurangi kuantitas atau jumlah ketersediaan air, tetapi juga memicu penurunan kualitas air tanah itu sendiri. Salah satu dampak kualitas yang paling kritis adalah intrusi air laut, di mana air asin masuk menggantikan air tawar yang telah dieksploitasi berlebihan (Nisa et al., 2012). Intrusi air laut merupakan peristiwa masuknya air laut ke dalam lapisan pembawa air atau akuifer, yang utamanya disebabkan oleh karakteristik batuan penyusun di daerah tersebut yang memiliki porositas tinggi. Batuan seperti aluvial, yang merupakan material endapan yang lepas dan belum terkonsolidasi dengan sempurna, merupakan contoh batuan yang sangat rentan terhadap fenomena ini. Proses intrusi ini sering kali diperparah oleh eksploitasi air tanah yang berlebihan, yang menyebabkan tekanan air tanah menurun sehingga keseimbangan alami antara air tawar dan air laut terganggu. Akibatnya, air laut yang memiliki massa jenis lebih tinggi pun mendesak dan mengisi ruang yang ditinggalkan oleh air tanah tersebut. Dengan demikian, kondisi geologis yang porous menjadi faktor kunci kerentanan suatu wilayah terhadap ancaman intrusi air laut (Alaydrus et al., 2022).

Survei resistivitas merupakan metode geofisika yang bertujuan memetakan distribusi tahanan jenis (resistivitas) material di bawah permukaan tanah. Pemetaan ini dilakukan melalui serangkaian pengukuran beda potensial dan arus listrik pada permukaan tanah. Data yang diperoleh kemudian dimodelkan untuk memprediksi variasi resistivitas lapisan batuan di bawah permukaan. Nilai resistivitas batuan ini sangat dipengaruhi oleh berbagai parameter geologi, seperti jenis mineral penyusun batuan, porositas batuan, kandungan fluida dalam pori-pori batuan, serta derajat kejenuhan air pada batuan tersebut. Dengan menganalisis hubungan antara nilai resistivitas dan parameter-parameter geologi ini, survei resistivitas dapat memberikan informasi berharga tentang kondisi dan karakteristik bawah permukaan (Nugraha et al., 2019).

Konfigurasi Wenner-Schlumberger akan diterapkan dalam survei ini, yang memiliki sistem pengaturan jarak antar elektroda yang tetap. Karakteristik utama konfigurasi ini terletak pada parameter " n ", yang didefinisikan sebagai perbandingan antara jarak dari elektroda arus ke elektroda potensial terdekat dengan jarak antara kedua elektroda potensial itu sendiri. Sebagai contoh, jika jarak antara dua elektroda potensial didefinisikan sebagai satu unit (a), maka jarak antara kedua elektroda arus dapat dihitung dengan rumus $2n+1$ dikalikan dengan unit jarak tersebut. Pengukuran resistivitas dilakukan dengan menempatkan keempat elektroda ini secara segaris di atas permukaan tanah (Wardhana et al., 2017).

Penelitian mengenai identifikasi zona intrusi air laut menggunakan metode geolistrik telah dilakukan beberapa kali diantaranya penelitian oleh (Virgo, 2006) dimana penelitian ini membuktikan bahwa konfigurasi Wenner-Schlumberger efektif untuk memetakan distribusi intrusi air sungai di daerah pesisir/estuarin seperti sekitar Pasar 16 Ilir, Palembang. Akuisisi data resistivitas lapangan dan inversi 2-D menghasilkan penampang yang mampu membedakan zona berair tawar, zona transisi (brackish) dan zona jenuh asin berdasarkan variasi nilai resistivitas; nilai resistivitas rendah pada lapisan dangkal hingga menengah diinterpretasikan sebagai indikasi pengaruh intrusi air

sungai/asin. Penggunaan array Wenner–Schlumberger memberikan kompromi resolusi vertikal dan horizontal yang baik sehingga struktur lateral intrusi — termasuk kedalaman muka air tawar dan jalur perembesan air tawar/asin — dapat diidentifikasi dengan cukup jelas. Selain itu penelitian mengenai intrusi air laut juga pernah dilakukan oleh (Syamsuddin et al., 2023) yang menunjukkan bahwa metode tahanan jenis (geolistrik) dengan konfigurasi Wenner–Schlumberger efektif untuk mengidentifikasi zona intrusi air laut pada skala lokal di Kelurahan Soreang, Kabupaten Maros. Akuisisi dilakukan pada dua lintasan saling berpotongan masing-masing sepanjang 470 m dengan spacing 10 m; hasil inversi 2-D mengindikasikan tiga lapisan utama (timbunan: $1\text{--}1000\ \Omega\cdot\text{m}$; alluvium: $1\text{--}6\ \Omega\cdot\text{m}$; batugamping: $\geq 7\ \Omega\cdot\text{m}$), di mana zona intrusi terdeteksi pada lapisan alluvium yang menunjukkan nilai resistivitas sangat rendah dan pola lateral yang konsisten dengan perembesan air laut. Analisis kedalaman pada penampang inversi memperlihatkan bahwa intrusi di area penelitian bersifat variatif—beberapa area menunjukkan intrusi hingga permukaan sementara yang lain mulai terdeteksi pada kedalaman sekitar 40 m ke bawah, sehingga intrusi mencakup rentang kedalaman dangkal hingga menengah tergantung litologi lokal dan kondisi hidrologi

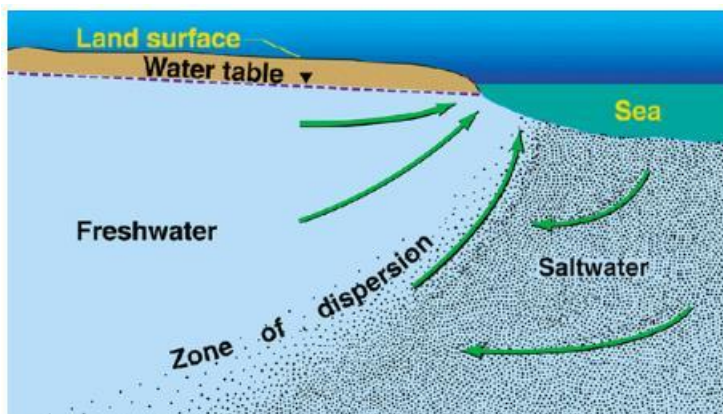
Sebagai daerah yang terletak berdekatan dengan sungai yang masih dipengaruhi oleh pasang surut air laut, Desa Kabba, Kecamatan Minasate'ne Kabupaten Pangkep, memiliki potensi terjadinya intrusi air laut. Kondisi ini mendorong perlunya suatu kajian guna menentukan sebaran area dan kedalaman lapisan air tawar serta air asin di bawah permukaan kelurahan tersebut. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk memetakan struktur bawah tanah guna mencapai tujuan tersebut adalah dengan menerapkan metode geolistrik Resistivitas 2D konfigurasi Wenner-schlumberger.

pesisir. Ke arah daratan hingga perbukitan bagian timur berkembang batuan gunungapi Formasi Camba, batuan malihan, batuan ultrabasa, serta kompleks melange, yang menunjukkan kondisi geologi lebih tua dan kompleks akibat aktivitas tektonik. Kehadiran batuan terobosan seperti diorit dan trakit menandakan aktivitas magmatik, sementara variasi satuan batuan secara keseluruhan menggambarkan hubungan antara proses sedimentasi, vulkanisme, dan tektonik di Kabupaten Pangkep (Fatinaware & Fauzi, 2019)

Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan (Pangkep) khusus nya di kecamatan minasate'ne, memiliki karakteristik khas berupa Kawasan karst. Secara umum, kondisi geologinya memperlihatkan endapan permukaan berupa tanah alluvial, daerah rawa, endapan pantai, delta, serta aliran sungai. Jenis batuan penyusunnya didominasi oleh batuan sedimen, antara lain batu pasir, kerikil, konglomerat, lempung, lanau, napal, serta material vulkanik seperti tuf, lava, dan breksi. Selain itu, beberapa bagian wilayahnya tersusun atas batuan sedimen yang berasosiasi dengan batuan gunung api, yang terbentuk dari Formasi Camba. Formasi ini terdiri atas batuan sedimen laut yang berselingan dengan batuan vulkanik, seperti breksi, lava, tufa, konglomerat, batu pasir, batu lanau, batu lempung, dan napal malihan. Di samping itu, juga dijumpai batuan terobosan (intrusif) dengan sifat dasar hingga menengah, meliputi granodiorit, tralit, dan batuan beku ultrabasa seperti peridotit, yang menunjukkan adanya aktivitas magmatik pada masa pembentukannya (Rahmi et al., 2023)

1.3.2 Intrusi Air Laut

Air mempunyai peranan yang sangat penting dalam kehidupan manusia. Air yang menjadi salah satu sumber daya mineral terpenting yang dapat diambil dari permukaan bumi. Sekitar 30 % dari konsumsi air harian di dunia didapatkan dari air tanah, sisanya didapatkan dari air permukaan pada sungai dan danau. Meningkatnya kebutuhan air yang di sebabkan oleh bertambahnya jumlah penduduk, kebutuhan pertanian dan industri akan menyebabkan turunnya muka air tanah atau kuantitas air tanah itu sendiri. Berkurangnya kandungan air tanah dapat mengakibatkan masuknya air laut kedalam lapisan air tanah



Gambar 2 Ilustrasi Intrusi Air Laut (Muhardi et al., 2020)

Air tanah berada dalam lapisan tanah/batuan yang terdapat di bawah permukaan yang dikenal sebagai akuifer. Lapisan akuifer ini dapat berfungsi untuk menyimpan dan mengalirkan air tanah. Lapisan akuifer terdiri dari akuifer bebas (unconfined aquifer) yang relatif dangkal, dan akuifer tertekan (confined aquifer) yang relatif dalam. Berdasarkan Gambar 1 memperlihatkan ilustrasi intrusi air laut pada akuifer yang umumnya terjadi pada daerah pesisir. Intrusi air laut pada daerah pesisir dapat terjadi karena adanya penurunan level air tanah (water table) akibat adanya pengambilan air tanah. Pengaruh intrusi air laut akan menyebabkan pencampuran antara air laut yang memiliki salinitas cukup tinggi (saltwater) dengan air tanah yang terjadi pada zona dispersi (zone of dispersion). Akibatnya zona ini akan mempengaruhi keberadaan air tanah yang terdapat pada akuifer (freshwater) (Muhardi et al., 2020)

Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya intrusi air laut, antara lain:

1. Peningkatan jumlah penduduk yang mendorong pemanfaatan air tanah secara berlebihan.
2. Kenaikan muka air laut akibat perubahan iklim dan pemanasan global. Pasang surut ekstrem seperti pasang perbani yang meningkatkan tekanan air laut ke daratan.
3. Penurunan muka tanah di wilayah pesisir akibat aktivitas tektonik maupun proses pemampatan tanah.
4. Masuknya air laut ke aliran sungai, yang kemudian meresap ke wilayah daratan di sekitar muara.

1.3.3 Sifat Elektrik Batuan

Dari semua sifat fisika batuan dan mineral, resistivitas memperlihatkan variasi harga yang sangat banyak. Pada mineral-mineral logam, harganya berkisar pada $10^{-8} \Omega\text{m}$ hingga $10^7 \Omega\text{m}$. Begitu juga pada batuan-batuan lain, dengan komposisi yang bermacam-macam akan menghasilkan kisaran resistivitas yang bervariasi pula. Sehingga kisaran resistivitas maksimum yang mungkin adalah dari $1,6 \times 10^{-8}$ (perak asli) hingga $10^{16} \Omega\text{m}$ (belerang murni). Konduktor biasanya didefinisikan sebagai bahan yang memiliki resistivitas kurang dari $10^{-8} \Omega\text{m}$, sedangkan isolator memiliki resistivitas lebih dari $10^7 \Omega\text{m}$. Dan diantara keduanya adalah bahan semikonduktor. Secara umum berdasarkan harga resistivitas listriknya, batuan dan mineral dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu (Dinata et al., 2024) :

1. Konduktor baik : $10^{-8} < \rho < 1 \Omega\text{m}$
2. Konduktor pertengahan : $1 < \rho < 10^7 \Omega\text{m}$
3. Isolator : $\rho > 10^7 \Omega\text{m}$.

Tabel 1 Nilai Resistivitas Batuan (Telford, W.M., L.P. Geldart, 1990)

No.	Material Nilai Resistivitas Batuan	Resistivitas (Ωm)
1	Batupasir (<i>Sandstone</i>)	200 – 8000
2	Gamping (<i>Limestone</i>)	50 – 10000000
3	Basal (<i>Basalt</i>)	1000 – 10000000
4	Kerikil (<i>Gravel</i>)	100 – 600
5	Lempung (<i>Clay</i>)	1 – 100
6	Air Tanah (<i>Ground Water</i>)	0.5 – 300
7	Air Asin (<i>Sea Water</i>)	0.2 – 5
8	Granit (<i>Granite</i>)	200 – 1000
9	Kwarsa (<i>Quartz</i>)	500 – 800000
10	Pasir (<i>Sands</i>)	1 – 1000
11	Konglomerat (<i>Conglomerate</i>)	2000 -10000
12	Batu Serpih (<i>Shale</i>)	20 – 2000

1.3.4 Prinsip Dasar Metode Geolistrik

Metode geolistrik merupakan salah satu teknik geofisika yang memanfaatkan aliran arus listrik untuk menginterpretasikan kondisi bawah permukaan bumi berdasarkan perbedaan potensial listrik yang dihasilkan. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk memperoleh informasi mengenai sifat kelistrikan batuan, seperti resistivitas, yang berkaitan erat dengan kandungan air, porositas, maupun jenis material penyusunnya. Pengukuran pada metode geolistrik dapat dilakukan dengan memanfaatkan sumber arus alami maupun buatan, tergantung pada tujuan dan karakteristik penelitian yang dilakukan. Variasi konfigurasi dan teknik pengukuran digunakan untuk memperoleh data yang lebih akurat sesuai dengan kebutuhan interpretasi geologi bawah permukaan (Bundang et al., 2020)

Survei geolistrik menghasilkan data berupa beda potensial, kuat arus, serta nilai resistivitas batuan. Data resistivitas tersebut kemudian diolah untuk memperoleh nilai tahanan jenis setiap lapisan batuan secara lebih rinci. Berdasarkan hasil interpretasi nilai resistivitas tersebut, struktur bawah permukaan tanah dapat digambarkan melalui variasi tahanan jenis antar lapisan. Hasil akhir dari analisis ini dapat memberikan gambaran yang cukup akurat mengenai potensi keberadaan air tanah, sesuai dengan karakteristik dan jenis batuan penyusunnya (Zuhdi & Wachid, 2021)

Prinsip dasar dari metode resistivitas mengacu pada Hukum Ohm, di mana arus listrik dialirkan ke dalam permukaan bumi melalui elektroda arus (C1 dan C2), sedangkan

perbedaan potensial diukur menggunakan elektroda potensial (P1 dan P2) di permukaan tanah. Berdasarkan hasil pengukuran antara kuat arus dan beda potensial pada berbagai jarak antar elektroda, dapat ditentukan nilai resistivitas masing-masing lapisan bawah permukaan di sekitar titik pengukuran (Usman et al., 2017)

1.3.5 Konsep Metode Resistivitas

Dalam kajian geolistrik, bumi sering dianggap sebagai medium homogen dan isotropis. Namun pada kenyataannya, bumi tersusun atas beberapa lapisan dengan nilai resistivitas (ρ) yang berbeda-beda. Akibatnya, nilai resistivitas yang terukur tidak merepresentasikan resistivitas sebenarnya. Nilai yang diperoleh seolah-olah menggambarkan resistivitas satu lapisan saja. Saat arus listrik dialirkan, alat tidak mengukur resistivitas asli tiap lapisan, melainkan nilai gabungan dari semuanya. Nilai inilah yang disebut resistivitas semu, yaitu resistivitas seolah-olah dari satu lapisan homogen yang mewakili lapisan-lapisan bumi sebenarnya, khususnya untuk jarak elektroda yang lebih besar, resistivitas hasil pengukuran disebut resistivitas semu (ρ_a). Resistivitas semu ini menggambarkan resistivitas dari suatu medium homogen fiktif yang ekuivalen dengan kondisi bumi berlapis tersebut (Syamsuddin et al., 2023)

Apabila terdiri atas dua lapisan dengan nilai resistivitas berbeda (ρ_1 dan ρ_2), maka hasil pengukuran tidak menampilkan keduanya secara terpisah. Medium tersebut akan terbaca sebagai satu lapisan homogen dengan nilai resistivitas tunggal yang disebut resistivitas semu (ρ_a). Nilai resistivitas semu ini dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

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

Dimana:

ρ_a = resistivitas semu (Ohm.m)

K = faktor geometri

ΔV = beda potensial pada MN (mV)

I = kuat arus (mA)

1.3.6 Potensial Pada Bumi Homogen Isotropis

Apabila arus listrik dialirkan secara kontinu ke dalam medium bumi yang bersifat homogen dan isotropik, maka besar arus yang melewati suatu elemen luas permukaan dA dengan rapat arus listrik J (A/m²) dapat dinyatakan sebagai berikut (Telford, W.M., L.P. Geldart, 1990):

$$dI = \vec{J} \cdot d\vec{A} \quad (2)$$

Dimana :

dI = arus listrik elemen (A)

$\vec{J}$ = rapat arus listrik (A/m²)

$d\vec{A}$ = elemen luas permukaan (m²)

Menurut Hukum Ohm, terdapat hubungan antara rapat arus listrik dengan medan listrik yang diberikan oleh persamaan:

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (3)$$

Dimana :

$\vec{E}$ = medan listrik (V/m)

σ = konduktivitas medium (S/m atau ohm/m)

Karena medan listrik yang mengalir merupakan turunan dari potensial listrik, maka dapat dituliskan sebagai:

$$\vec{E} = -\nabla V \quad (4)$$

Dimana :

V = potensial listrik (Volt)

∇V = gradien potensial

Dengan mensubstitusikan persamaan (4) ke dalam persamaan (3), maka diperoleh:

$$\vec{J} = -\sigma \nabla V \quad (5)$$

Aliran arus listrik dalam medium homogen isotropik mengikuti prinsip hukum kekekalan muatan, yang dinyatakan oleh:

$$\nabla \cdot \vec{J} = \frac{\partial q}{\partial t} \quad (6)$$

Dimana :

q = kerapatan muatan listrik (C/m³)

Berdasarkan Teorema Gauss, integral volume dari divergensi arus Listrik ($\nabla \cdot \vec{J}$) melalui permukaan tertutup sama dengan jumlah total muatan listrik dalam volume tersebut.

Untuk kondisi arus stasioner, di mana tidak terjadi perubahan muatan terhadap waktu, maka:

$$\nabla \cdot \vec{J} = 0 \quad (7)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (5) ke dalam persamaan (7), diperoleh:

$$\nabla \cdot (-\sigma \nabla V) = 0 \quad (8)$$

Persamaan (8) dapat dikembangkan menjadi:

$$\nabla \sigma \cdot \nabla V + \sigma \nabla^2 V = 0 \quad (9)$$

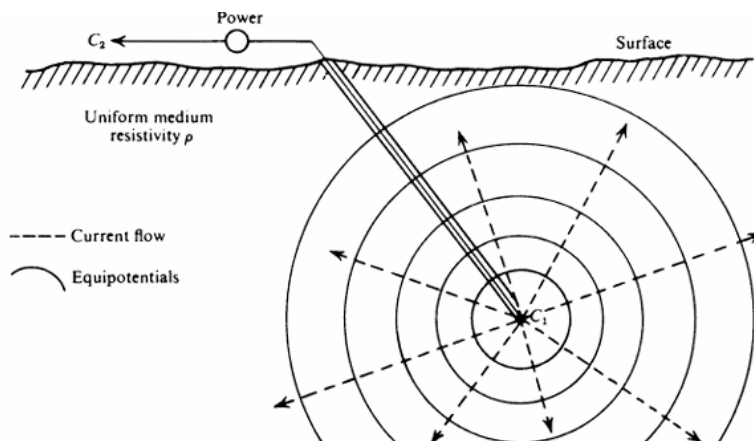
Apabila arus stasioner mengalir pada medium homogen isotropik, maka konduktivitas σ dianggap konstan, sehingga suku pertama pada persamaan (9) dapat diabaikan. Dengan demikian, persamaannya menjadi:

$$\nabla^2 V = 0 \quad (10)$$

Persamaan (10) disebut Persamaan Laplace, yang menggambarkan distribusi potensial listrik dalam medium homogen isotropik. Persamaan ini menjadi dasar teori dari metode

geolistrik tahanan jenis, yang digunakan untuk menentukan variasi resistivitas bawah permukaan bumi.

1.3.7 Potensial Arus Tunggal di Dalam Bumi



Gambar 3 Sumber Arus Tunggal di Dalam Bumi (Telford, W.M., L.P. Geldart, 1990)

Menurut (Telford, W.M., L.P. Geldart, 1990) pada Gambar 3, apabila arus listrik tunggal diinjeksikan ke dalam medium bumi yang bersifat homogen dan isotropik, maka arus tersebut akan mengalir ke segala arah secara merata. Setiap titik ekuipotensial pada medium tersebut membentuk bidang potensial berbentuk bola, yang dalam sistem koordinat bola (r , θ , ϕ) memenuhi persamaan Laplace sebagai berikut:

$$\nabla^2 V = \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial V}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 V}{\partial \phi^2} = 0 \quad (11)$$

Dimana :

V = potensial listrik (Volt)

r = jarak dari sumber arus (m)

θ = sudut zenith (radian)

ϕ = sudut azimuth (radian)

Karena arus mengalir keluar secara radial dari pusat sumber arus dan perubahan θ dan ϕ tidak mempengaruhi besar potensial, maka variasi arah θ dan ϕ dapat diabaikan. Dengan demikian, persamaan (11) disederhanakan menjadi:

$$\frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dV}{dr} \right) = 0 \quad (12)$$

Dimana Persamaan ini menunjukkan bahwa perubahan potensial hanya bergantung pada jarak radial r , bukan pada arah.

Persamaan (12) kemudian diintegrasikan terhadap r , sehingga diperoleh hubungan antara potensial dan jarak sebagai berikut:

$$\int \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dV}{dr} \right) = \int 0 \rightarrow r^2 \frac{dV}{dr} = P \rightarrow \frac{dV}{dr} = \frac{P}{r^2} \quad (13)$$

Kemudian persamaan (13) di-integralkan lagi seperti berikut :

$$\int dV = \int \frac{P}{r^2} dr \rightarrow V = -\frac{P}{r} + Q \quad (14)$$

Dimana P dan Q adalah konstanta integrasi yang nilainya ditentukan oleh kondisi batas pada medium.

Dengan menerapkan kondisi batas di mana pada jarak tak berhingga ($r = \infty$) nilai potensial dianggap nol ($V = 0$), maka diperoleh $Q = 0$. Dengan demikian, persamaan potensial dapat dituliskan sebagai:

$$V = -\frac{P}{r} \quad (15)$$

Dimana Persamaan ini menggambarkan bahwa potensial listrik berbanding terbalik dengan jarak dari sumber arus.

Pada sumber arus tunggal di bawah permukaan medan ekuipotensialnya membentuk bola yang dapat dinyatakan dengan:

$$A = 4\pi r^2 \quad (16)$$

Substitusi persamaan (5) dan (16) ke dalam persamaan (2) menghasilkan hubungan antara arus total dan rapat arus listrik, yaitu:

$$I = (-\sigma \nabla V) 4\pi r^2 \quad (17)$$

Dimana :

I = arus listrik total (A)

σ = konduktivitas medium (S/m)

∇V = gradien potensial listrik (V/m)

Karena potensial V hanya bergantung pada r , maka $\nabla V = \frac{dV}{dr}$, sehingga persamaan (13) dapat disubstitusi ke persamaan (17) menghasilkan:

$$I = -4\pi r^2 \sigma \frac{P}{r^2} \quad (18)$$

Karena $\sigma = \frac{1}{\rho}$, sehingga persamaan (18) dapat disederhanakan menjadi:

$$P = -\frac{I\rho}{4\pi r^2} \quad (19)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (14) ke dalam persamaan (15), maka diperoleh persamaan potensial listrik akibat arus titik tunggal pada medium homogen isotropik sebagai berikut:

$$V = \left(\frac{I\rho}{4\pi} \right) \frac{1}{r} \quad (20)$$

Dimana :

V = potensial listrik (Volt)

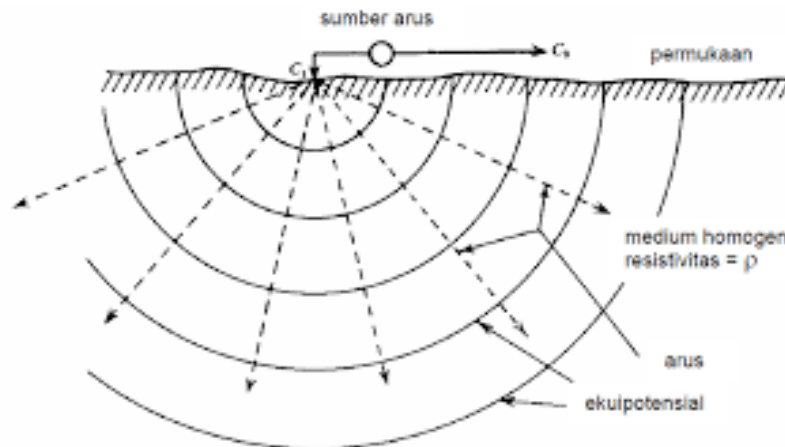
I = arus listrik yang diinjeksikan (Ampere)

ρ = resistivitas medium ($\Omega \cdot m$)

r = jarak dari sumber arus (m)

Persamaan (20) menunjukkan bahwa besar potensial pada suatu titik di dalam medium homogen isotropik berbanding lurus dengan resistivitas dan kuat arus yang diinjeksikan, serta berbanding terbalik dengan jarak dari sumber arus. Persamaan ini menjadi dasar utama dalam perhitungan potensial pada konfigurasi elektroda arus ganda (C_1 dan C_2) dalam metode geolistrik tahanan jenis.

1.3.8 Potensial Arus Tunggal di Permukaan Bumi



Gambar 4 Sumber Arus Tunggal di Dalam Bumi (Telford, W.M., L.P. Geldart, 1990)

Gambar 4 menunjukkan bahwa Ketika satu elektroda arus diinjeksikan pada permukaan bumi yang bersifat homogen dan isotropik, maka arus listrik akan menyebar secara radial dari titik sumber menuju ke segala arah di dalam medium. Garis-garis yang memiliki potensial sama (ekuipotensial) selalu berada tegak lurus terhadap arah aliran arus listrik. Karena konduktivitas udara di atas permukaan tanah dianggap nol, maka arus hanya mengalir ke dalam bumi. Akibatnya, bidang ekuipotensial yang terbentuk berbentuk setengah bola (hemisfer). Luas permukaan dari setengah bola ini dapat dituliskan sebagai (Lowrie, W., & Fichtner, 2020)

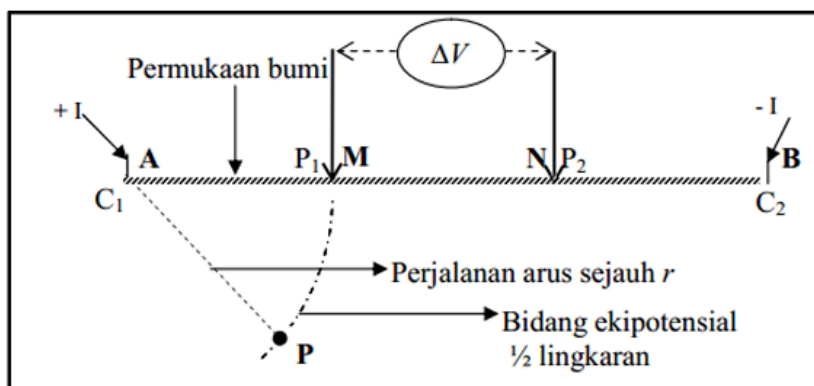
$$A = 2\pi r^2 \quad (21)$$

Dengan demikian persamaan (20) dapat di tulis sebagai berikut :

$$V = \left(\frac{I\rho}{2\pi} \right) \frac{1}{r} \quad (22)$$

Perambatan arus listrik dari elektroda arus (C_1) menuju elektroda potensial (P_1) di bawah permukaan bumi ditunjukkan pada Gambar 5. Ketika arus diinjeksikan melalui C_1 , arus tersebut menyebar secara radial membentuk setengah lingkaran melalui medium tanah yang dianggap homogen dan isotropik.

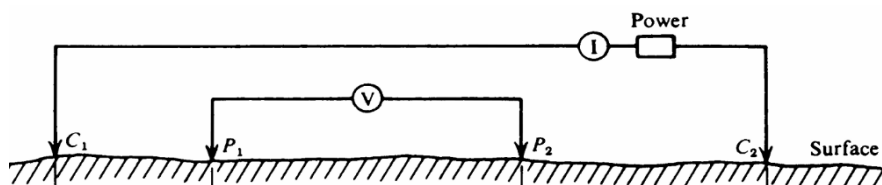
Pada titik berjarak r dari sumber arus, yaitu di posisi P_1 , akan timbul beda potensial listrik akibat hambatan material tanah terhadap aliran arus. Besarnya potensial ini bergantung pada kuat arus yang diinjeksikan, resistivitas medium, serta jarak antar elektroda. Pola penyebaran ini menjadi dasar dalam analisis geolistrik tahanan jenis untuk menentukan variasi sifat listrik lapisan bawah permukaan.



Gambar 5 Sumber Arus Tunggal di Dalam Bumi (Telford, W.M., L.P. Geldart, 1990)

1.3.9 Potensial Arus Ganda di Permukaan Bumi

Dalam pengukuran geofisika resistivitas, umumnya digunakan dua elektroda arus dan dua elektroda potensial, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 6. Meskipun demikian, terdapat pula variasi metode geolistrik yang menggunakan jumlah elektroda lebih sedikit, misalnya hanya satu pasang elektroda yang terdiri dari satu elektroda arus dan satu elektroda potensial, atau bahkan hanya menggunakan elektroda arus saja, tergantung pada tujuan dan jenis survei yang dilakukan (Telford, W.M., L.P. Geldart, 1990).



Gambar 6 Dua elektroda arus dan dua elektroda potensial di permukaan (Lowrie, W., & Fichtner, 200)

Ketika jarak antara dua elektroda arus dibatasi di permukaan, maka besarnya nilai potensial dipermukaan dipengaruhi oleh kedua elektroda arus tersebut. Potensial total di titik P_1 ditimbulkan oleh arus C_1 dan C_2 adalah :

$$V_{p_1} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (23)$$

Potensial total di P_2 dipengaruhi oleh C_1 dan C_2 adalah :

$$V_{p_2} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (24)$$

Beda potensial (ΔV) antara titik P_1 dan P_2 adalah :

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right] \quad (25)$$

Dimana :

$$K = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]} \quad (26)$$

Sehingga Resistivitas ditulis sebagai berikut

:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (27)$$

Dimana :

ΔV = beda potensial antara P_1 dan P_2

K = faktor geometri

I = kuat arus yang melalui elektroda arus C_1 dan C_2 (Ampere)

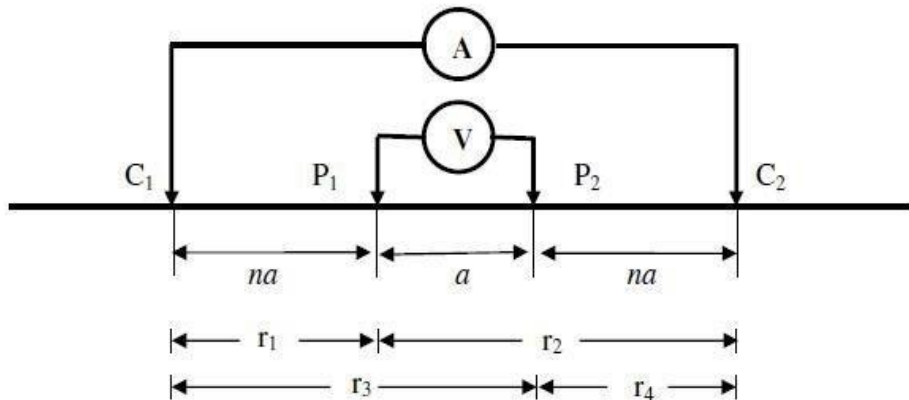
r_1 = jarak antara C_1 dan P_1 (m)

r_2 = jarak antara C_2 dan P_1 (m)

r_3 = jarak antara C_1 dan P_2 (m)

r_4 = jarak antara C_2 dan P_2 (m)

1.3.10 Konfigurasi Wenner-Schlumberger



Gambar 7 Konfigurasi Wenner Schlumberger (Telford, W.M., L.P. Geldart, 1990)

Nilai resistivitas semu dapat dinyatakan dengan persamaan (Okviyani et al., 2020) :

$$\rho a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (28)$$

K adalah faktor geometrik yang tergantung pada jenis konfigurasi yang digunakan. Faktor geometrik untuk konfigurasi Wenner-Schlumberger menggunakan persamaan:

$$K = \pi n(n + 1)a \quad (29)$$

Konfigurasi Wenner–Schlumberger merupakan penggabungan antara konfigurasi Wenner dan Schlumberger yang dirancang untuk memperoleh keseimbangan antara resolusi lateral dan kedalaman penetrasi. Menurut Loke dalam bukunya *Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys*, konfigurasi ini menggunakan empat elektroda yang tersusun sejajar pada satu garis, yaitu dua elektroda arus (A dan B) serta dua elektroda potensial (M dan N). Jarak antara elektroda potensial (M–N) biasanya lebih kecil dibandingkan jarak antara elektroda arus (A–B), dengan rasio perbandingan jarak yang dinyatakan sebagai faktor n . Kombinasi jarak ini membuat konfigurasi Wenner–Schlumberger lebih sensitif terhadap variasi resistivitas vertikal maupun lateral dibanding konfigurasi Wenner atau Schlumberger tunggal (Loke M. H., 2015)

1.3.11 Hubungan Antara Resistivitas dan Salinitas

Islami et al (2024) dalam penelitiannya Menjelaskan adanya hubungan yang kuat antara nilai resistivitas batuan dan tingkat salinitas pada akuifer pantai. Berdasarkan hasil eksperimen, ketika kandungan air laut dalam medium mencapai sekitar 25%, nilai resistivitas berada pada kisaran 5–10 $\Omega \cdot m$. Namun, saat persentase air laut meningkat hingga 50%, resistivitas turun menjadi sekitar 2–5 $\Omega \cdot m$. Hal ini menunjukkan bahwa

peningkatan kadar air laut di dalam akuifer menyebabkan penurunan nilai resistivitas secara signifikan.

Secara fisik, penurunan resistivitas tersebut disebabkan oleh meningkatnya jumlah ion-ion terlarut (seperti Na^+ dan Cl^-) dalam air laut yang berperan dalam menghantarkan arus listrik. Semakin tinggi salinitas, maka konduktivitas medium meningkat sehingga hambatan listrik (resistivitas) berkurang. Dengan demikian, hasil penelitian ini mendukung prinsip umum dalam geolistrik bahwa resistivitas berbanding terbalik dengan salinitas, dan dapat digunakan sebagai dasar interpretasi untuk mendeteksi intrusi air laut pada akuifer pantai (Islami et al., 2025)

Faktor konsentrasi garam terlarut (salinitas), memiliki beda nilai resistivitas berdasarkan konsentrasinya seperti pada Tabel berikut

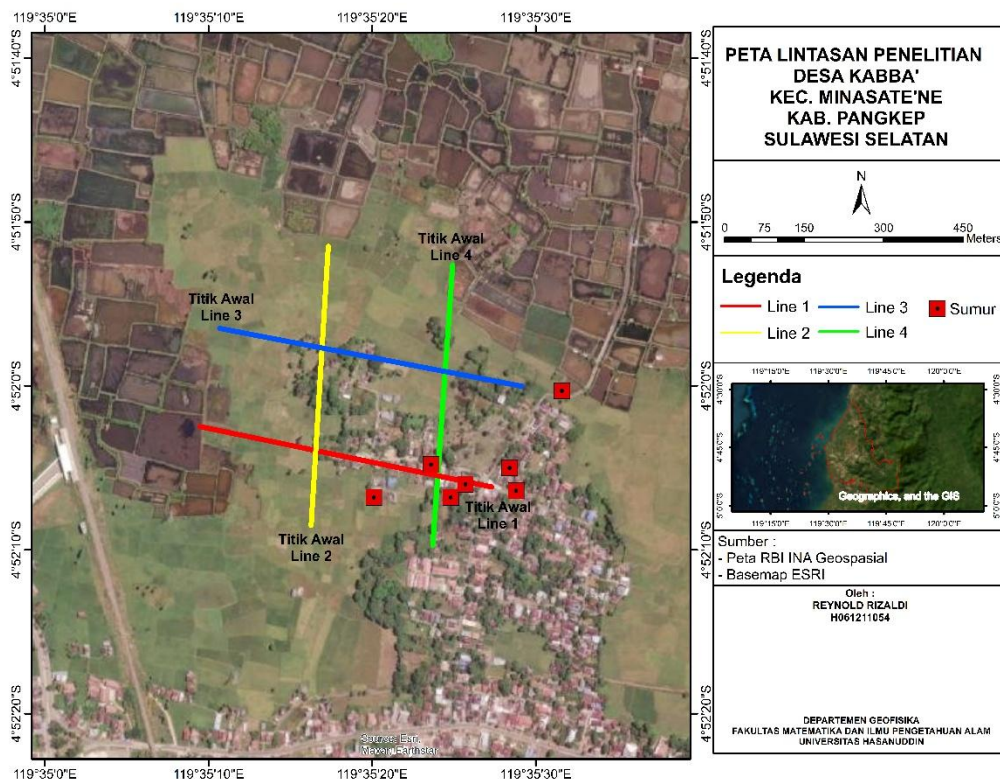
Tabel 2 Perbandingan Kadar Garam Dengan Resistivitas (Syamsuddin et al., 2023)

Kadar garam (g/l)	Resistivitas (Ωm)
20,00	0,385
8,00	0,825
6,00	1,079
4,00	1,497
2,00	2,922
1,00	5,515

BAB II METODOLOGI PENELITIAN

1.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Desa Kabba', Kecamatan Minasate'ne, Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan, Provinsi Sulawesi Selatan, dengan jarak lokasi penelitian dengan laut berkisar 9 km di arah Barat (**Gambar 8**). Secara astronomis terletak pada $119^{\circ}35'05'' - 119^{\circ}35'35''$ BT dan $4^{\circ}51'45'' - 4^{\circ}52'15''$ LS



Gambar 8 Peta Lintasan Lokasi Penelitian

1.2 Alat dan Bahan

1.2.1 Alat

1. 1 Set Alat Instrumen Geolistrik Geomative GD20 digunakan untuk mengetahui nilai resistivitas untuk mendapatkan resistivitas semu
2. 6 Rol Kabel dengan masing-masing panjang kabel 10 Meter, digunakan sebagai penghubung Elektroda dengan Alat Instrumen
3. 1 buah Multi-channel receiver box, yang berfungsi merekam sinyal dari banyak elektroda secara simultan sehingga akuisisi data menjadi lebih cepat, lebih akurat, dan lebih stabil.
4. 1 buah Battery/Aki, sebagai sumber daya utama yang memasok listrik ke alat geolistrik sehingga sistem dapat mengirim arus ke elektroda dan merekam data resistivitas di lapangan.

5. Takeout, titik sambungan pada kabel geolistrik yang berfungsi sebagai tempat menghubungkan elektroda ke sistem akuisisi untuk pengiriman arus dan pembacaan potensial.
6. 60 buah Elektroda dan jumper, Elektroda berfungsi sebagai titik kontak antara alat geolistrik dan tanah untuk menginjeksikan arus serta menangkap beda potensial. Jumper berfungsi sebagai kabel penghubung pendek antara elektroda dan takeout atau antar titik sambungan agar rangkaian listrik tetap tersambung dengan baik.
7. 3 buah Palu Elektroda, digunakan untuk mempermudah Paku Elektroda masuk kedalam tanah
8. Switch relay berfungsi untuk mengatur perpindahan arus dan pemilihan pasangan elektroda secara otomatis selama pengukuran, sehingga alat dapat menjalankan berbagai konfigurasi geolistrik tanpa harus memindahkan kabel secara manual.
9. 3 buah Meteran dengan panjang 50 meter, digunakan untuk mengukur panjang lintasan dan spasi elektroda.
10. *Software* pendukung yang digunakan yaitu (*Microsoft Excel, Res2Dinv, Notepad, ArcGis, dan Google Earth*)

1.2.2 Bahan

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data primer yang diperoleh dari pengukuran geolistrik resistivitas dengan konfigurasi *Wenner-Schlumberger* sebanyak 4 lintasan dengan panjang 500 meter.

1.3 Prosedur Penelitian

1.3.1 Tahap Persiapan

Tahap ini dilakukan sebelum pengukuran dimulai untuk memastikan proses akuisisi data berjalan lancar. Kegiatan yang dilakukan meliputi studi literatur untuk memahami teori geolistrik serta kondisi geologi daerah penelitian, kemudian dilanjutkan dengan survei lapangan untuk memperoleh gambaran umum lokasi. Survei tersebut juga digunakan sebagai dasar dalam menentukan rancangan lintasan pengukuran agar kedalaman target dapat dicapai secara optimal.

1.3.2 Tahap Akuisisi

Pengambilan data geolistrik di lapangan dilakukan sebanyak dua lintasan dengan panjang setiap lintasan 500 m menggunakan konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dengan spasi 5 m. Adapun tahapan pengambilan data sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat-alat yang dibutuhkan,
2. Menentukan titik lintasan pengambilan data,
3. Memasang elektroda dengan spasi 5 meter sebanyak 60 buah,
4. Menghubungkan elektroda dengan main unit menggunakan kabel,
5. Menghubungkan main unit dengan Aki/battery menggunakan kabel konektor.
6. Memastikan semua elektroda telah terhubung dengan main unit sebelum melakukan pengukuran.
7. Pengukuran dilakukan dengan mengalirkan arus ke dalam tanah,
8. Merekam nilai yang terbaca pada alat.

1.3.3 Tahap Pengolahan Data

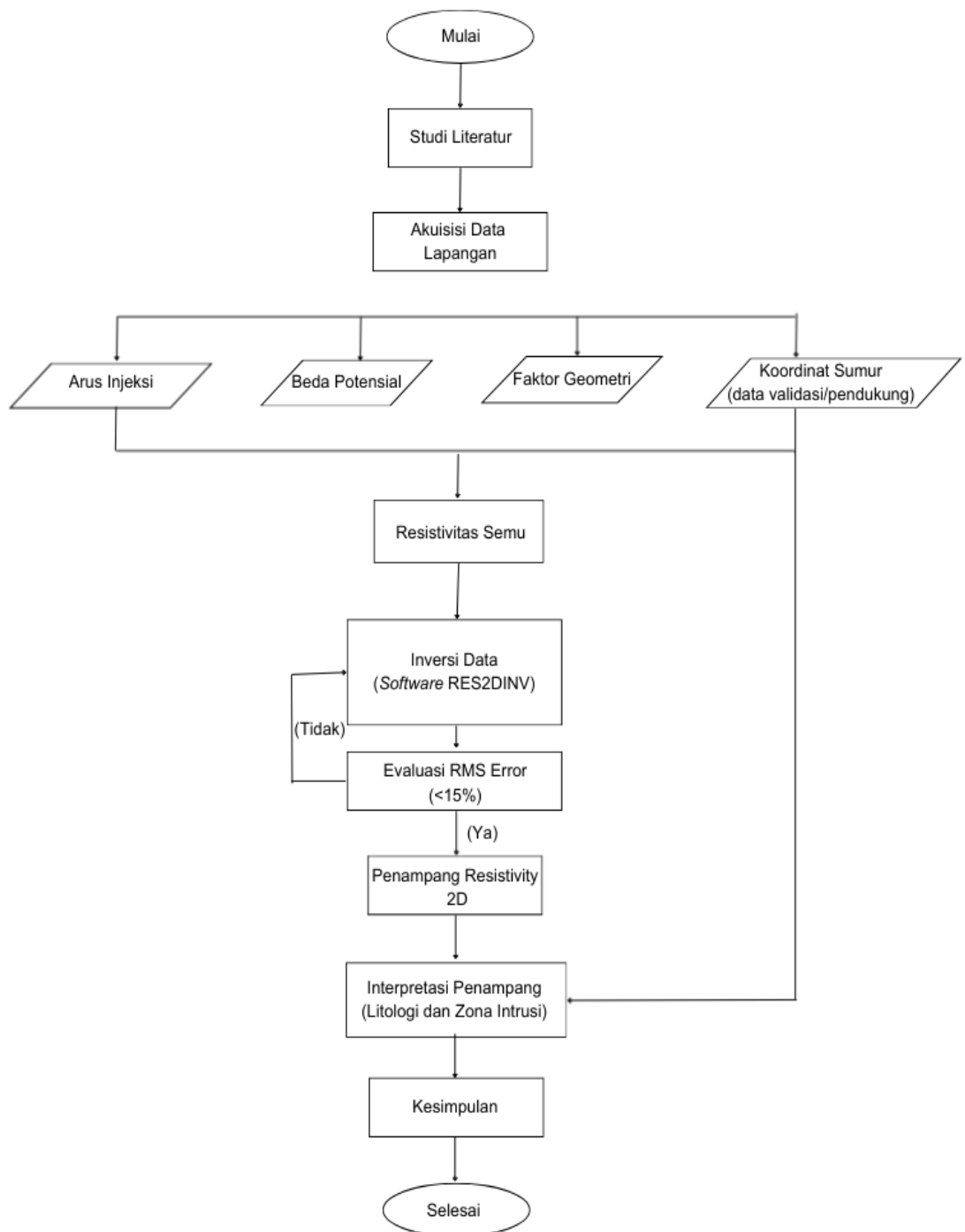
Tahapan pengolahan data dilakukan sebagai berikut:

1. Mengunduh data dari alat Iris Instrumen Syscal Switch 48 melalui software bawaan alat yakni Prosys II.
2. Mendapatkan nilai arus (I) dan beda potensial (ΔV) di setiap titik pengukuran.
3. Mendapatkan nilai resistivitas semu dari perhitungan faktor geometri dengan perbandingan beda potensial (ΔV) dan kuat arus (I) pengukuran.
4. Mengubah format data .Bin pada Software Prosys II ke format .Dat.
5. Menginput data dengan format .Dat ke software Res2DInv.
6. Mengolah data menggunakan software Res2DInv untuk mendapatkan nilai kalkulasi resistivitas semu dan resistivitas hasil inversi yang digambarkan dalam penampang 2D.
7. Data resistivitas hasil inversi memiliki nilai error yang disebut RMSE (root mean squared error). Nilai RMSE merupakan nilai error yang menunjukkan perbedaan nilai resistivitas semu hasil pengukuran dengan nilai resistivitas semu hasil perhitungan.
8. Jika persentase RMSE tinggi maka dilakukan proses trimming yaitu menegelimasi datum point yang dianggap menyimpang (noise).

1.3.4 Tahap Interpretasi

Penampang 2D hasil inversi kemudian ditafsirkan dengan mengacu pada nilai resistivitas batuan serta dikaitkan dengan kondisi geologi daerah penelitian untuk memahami hubungan antara susunan lapisan bawah permukaan dan variasi resistivitas yang muncul. Dalam proses interpretasi, rentang nilai resistivitas yang dihasilkan oleh pemodelan divisualisasikan sebagai gradasi warna yang menggambarkan tingkat konduktivitas material. Warna dengan resistivitas tinggi umumnya menunjukkan material yang lebih kering, padat, atau bersifat resisif seperti batuan beku dan sedimen kompak. Sebaliknya, warna dengan resistivitas rendah mencerminkan material berpori, jenuh air, atau mengandung fluida konduktif. Dengan menganalisis pola variasi warna, kontur resistivitas, dan kesesuaiannya dengan kondisi geologi daerah penelitian, interpretasi ini mampu mengungkap jenis batuan di bawah permukaan sekaligus memberikan indikasi mengenai kemungkinan keberadaan zona yang dipengaruhi oleh intrusi air laut. Tahapan ini menjadi dasar penting dalam memahami kondisi hidrogeologi serta potensi perubahan kualitas air tanah di wilayah penelitian.

1.4 Bagan Alir



Gambar 9 Bagan Alir