

**DISERTASI**

**DELINIASI INTRUSI AIR LAUT PADA AKUIFER DANGKAL DI  
BAGIAN BARAT KOTA MAKASSAR SULAWESI SELATAN INDONESIA**

*Delineation of Seawater Intrusion in Shallow Aquifers in the Western Part of  
Makassar City, South Sulawesi, Indonesia.*

**LALU MAS'UD  
D033192001**



**PROGRAM STUDI DOKTOR  
TEKNOLOGI KEBUMIHAN DAN LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2024**

**PENGAJUAN DISERTASI**

**DELINIASI INTRUSI AIR LAUT PADA AKUIFER DANGKAL DI  
BAGIAN BARAT KOTA MAKASSAR SULAWESI SELATAN INDONESIA**

Disertasi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Doktor  
Program Studi Teknologi Kebumihan Dan Lingkungan

Disusun dan diajukan oleh

**LALU MAS'UD  
D033192001**

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2024**

**DISERTASI****DELINASI INTRUSI AIR LAUT PADA AKUIFER  
DANGKAL DI BAGIAN BARAT KOTA MAKASSAR  
SULAWESI SELATAN****LALU MAS'UD**  
D033192001

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Disertasi yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Doktor Proram Studi Teknologi Kebumian dan Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 22 Agustus 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,  
Promotor

Prof. Dr. Ir. Hazairin Zubair, M.S  
NIP. 19540828188321001

Co. Promotor,



Prof. Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T  
NIP. 19591008 198703 1 001

Co. Promotor,



Dr. Ir. Hamid Umar, M.S  
NIP. 19601202 198811 1 001

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin

Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST.,  
MT., IPM., ASEAN Eng  
NIP. 19730926 200012 1 002

Ketua Program Studi Doktor  
Teknologi Kebumian dan  
Lingkungan

Dr. Ulva Ria Irfan, S.T., M.T  
NIP. 19700606 199412 2 001

**PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI  
DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA**

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Lalu Mas'ud

Nomor mahasiswa : D033192001

Program studi : Teknologi Kebumian dan Lingkungan

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi berjudul *Deliniasi Intrusi Air Laut pada Akuifer Dangkal di Bagian Barat Kota Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia* adalah benar karya saya sendiri dengan bimbingan dari komisi pembimbing, yaitu Prof. Dr. Ir. Hazairin Zubair, M.S (promotor), Prof. Dr. Ir. Busthan Azikin, MT (co-promotor 1), dan Dr. Ir. Hamid Umar, M.S (co-promotor 2). Karya ilmiah ini belum pernah diajukan, dan tidak sedang diajukan, dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Semua sumber informasi yang digunakan atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan oleh penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka disertasi ini. Sebagian isi disertasi ini telah dipresentasikan pada The2nd ICOMAREST 2023 dengan judul *Seawater Intrusion and Groundwater Quality Based on Geochemical Data and Physical Properties of Shallow Groundwater in the Western Part of Makassar City, South Sulawesi Province, Indonesia*. Selain itu, artikel jurnal dengan judul *Delimitation of Seawater Intrusion Using Geoelectric Resistivity Method in Shallow Aquifer in Western Part of Makassar, South Sulawesi, Indonesia* akan dipublikasikan dalam Iraqi Geological Journal.

Gowa, 04 September 2024



Yang menyatakan

Lalu Mas'ud

## KATA PENGANTAR

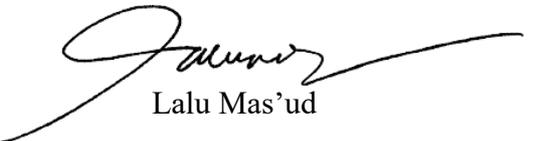
Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat-Nya sehingga disertasi ini dapat diselesaikan. Kerentanan wilayah pantai barat Kota Makassar akibat intrusi air laut memerlukan strategi mitigasi yang mempertimbangkan pengelolaan geologi perkotaan. Oleh karena itu, diperlukan model tiga dimensi untuk deliniasi intrusi air laut pada akuifer dangkal di Bagian Barat Kota Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia. Mewujudkan gagasan-gagasan tersebut dalam bentuk disertasi bukanlah hal yang mudah. Berkat bimbingan, arahan, dan motivasi dari berbagai pihak, disertasi ini dapat disusun sesuai dengan kaidah-kaidah yang dipersyaratkan. Untuk itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Hazairin Zubair, M.S. sebagai promotor, Prof. Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T. sebagai co-promotor 1, dan Dr. Ir. Hamid Umar, M.T. sebagai co-promotor 2.
2. Prof. Dr. rer. nat. Ir. A.M. Imran, Prof. Dr. Ir. Hj. Rohaya Langkoke, M.T., Dr. Ir. Safri Burhanuddin, DEA, dan Dr. Ir. Haerany Sirajuddin, M.T., sebagai tim penguji.
3. Prof. Dr. Ir. Sari Bahagiarti K., M.Sc., selaku penguji eksternal.
4. Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc., Rektor Universitas Hasanuddin.
5. Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., IPM, ASEAN Eng., Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, yang telah memfasilitasi penulis dalam menempuh program doktor, serta para dosen dan rekan-rekan dalam tim penelitian.
6. Dr. Eng. H. Hendra Pachri, S.T., M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Geologi, dan Dr. Ulva Ria Irfan, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknologi Kebumihan dan Lingkungan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Para dosen dan staf di Program Studi Teknologi Kebumihan dan Lingkungan, Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

8. Rekan-rekan yang telah membantu pelaksanaan penelitian di lapangan dan di laboratorium. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada rekan-rekan atas bantuan dalam pengolahan data dan pengujian statistik.

Akhirnya, kepada kedua orang tua yang telah mendahului, semoga dosa-dosa mereka diampuni dan amal ibadah mereka diterima di sisi-Nya. Kepada mertua tercinta, Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya dan sembah sujud atas doa, pengorbanan, dan motivasi yang diberikan selama Penulis menempuh pendidikan. Penghargaan yang tulus juga Penulis sampaikan kepada istri tercinta, Faradilla Dian Erawati, atas dukungan dan kesabarannya yang tiada henti dalam menemani Penulis melalui suka dan duka selama menjalani rumah tangga, kuliah, dan penyusunan disertasi ini. Tak lupa, kepada anak-anak kami, Lalu Muh. Sakhiy Mas'ud Kholah, Baiq Najwa Salsabil Mas'ud Kholah, Lalu Abdullah Azzam Mas'ud Kholah, dan Baiq Aisyah Humaera Mas'ud Kholah, kalian adalah sumber motivasi terbesar untuk memberikan keteladanan tentang pentingnya pendidikan. Terima kasih juga kepada seluruh keluarga, baik kakak, adik, maupun paman, atas motivasi dan dukungan yang tak ternilai.

Penulis,



Lalu Mas'ud

## ABSTRAK

**LALU MAS'UD.** Deliniasi Intrusi Air Laut pada Akuifer Dangkal di Bagian Barat Kota Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia (dibimbing oleh **Hazairin Zubair, Busthan Azikin, dan Hamid Umar**).

Berdasarkan investigasi zona konservasi air tanah di bagian barat Kota Makassar, ditemukan bahwa sebagian besar wilayah ini merupakan zona kritis dalam hal ketersediaan air tawar akibat intrusi air laut. Penelitian ini bertujuan untuk menampilkan karakteristik dan sebaran kualitas air tanah dangkal, mengkategorikan indeks kualitas air tanah, dan membangun model deliniasi intrusi air laut berdasarkan resistivitas air tanah akuifer dangkal di bagian barat Kota Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia.

Penelitian dilakukan dengan mengambil sampel air dari 77 sumur milik penduduk di bagian barat Kota Makassar, kemudian dilakukan pengujian sifat fisik-kimia air tanah yang meliputi konduktivitas, DO, pH, ORP, TDS, dan kadar garam menggunakan Digital Instruments Lutron YK-2001 PHA. Dari sampel yang terindikasi intrusi air laut, dipilih secara purposive 17 sampel untuk pengujian TDS dan konsentrasi ion mayor air tanah, yang meliputi Ca, Mg, Na, K, CaCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Cl, NO<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub>, dan HCO<sub>3</sub> di Laboratorium Penelitian dan Pengembangan Sains, Fakultas MIPA, Universitas Hasanuddin.

Pengukuran resistivitas dilakukan di lapangan menggunakan metode geolistrik konfigurasi Schlumberger pada 23 titik. Data resistivitas yang terukur kemudian diproses dengan Software Res2DInv, dan hasil log dari setiap titik digunakan untuk membuat peta iso-resistivitas pada kedalaman 3, 9, 18, 30, 45, dan 57 meter. Dengan bantuan aplikasi GIS, peta iso-resistivitas dari 23 titik ini digabungkan untuk menampilkan sebaran intrusi air laut.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter fisik-kimia seperti salinitas, konduktivitas, DO, ORP, dan pH air tanah dangkal mengindikasikan adanya air payau hingga air asin. Nilai salinitas bervariasi antara 12,9‰ hingga 46,3‰ dengan rata-rata 27,61‰, yang menunjukkan bahwa air tanah dangkal telah terkontaminasi oleh air asin. Berdasarkan pengukuran resistivitas, ditemukan nilai isoresistivitas 0-5  $\Omega$ m, yang diinterpretasikan sebagai lapisan air asin-payau yang tersebar pada wilayah studi pada kedalaman 3 hingga 57 meter.

Kesimpulannya, berdasarkan karakteristik geokimia dan sifat fisik air tanah, bagian barat Kota Makassar telah mengalami intrusi air laut. Model deliniasi intrusi air laut menunjukkan bahwa intrusi air laut telah menyebar di wilayah Kecamatan Tamalanrea, Kecamatan Ujung Tanah, Kecamatan Tallo, Kecamatan Wajo, Kecamatan Bontoala, Kecamatan Panakukang, Kecamatan Makassar, Kecamatan Rappocini, Kecamatan Mariso, Kecamatan Mamajang, dan sebagian Kecamatan Tamalate, mencakup sekitar 56,07% dari wilayah penelitian pada kedalaman 3 hingga 57 meter.

Kata Kunci: Akuifer, Deliniasi, Geokimia, Intrusi air laut, Kota Makassar

## ABSTRACT

**Lalu Mas'ud.** *Delineation of Seawater Intrusion in a Shallow Aquifer in the Western Part of Makassar City, South Sulawesi, Indonesia (supervised by Hazairin Zubair, Busthan Azikin, and Hamid Umar).*

Based on the investigation of groundwater conservation zones in the western part of Makassar City, it was found that most of these areas are critical zones in terms of freshwater availability due to seawater intrusion. This study aims to display the characteristics and distribution of shallow groundwater quality, categorize the groundwater quality index, and build a seawater intrusion delineation model based on the resistivity of shallow aquifer groundwater in the western part of Makassar City, South Sulawesi, Indonesia.

The research was carried out by taking water samples from 77 wells belonging to residents in the western part of Makassar City, then testing the physical-chemical properties of groundwater including conductivity, DO, pH, ORP, TDS, and salt content using Lutron YK-2001 PHA Digital Instruments. From the samples indicated seawater intrusion, 17 samples were purposively selected for TDS testing and major ion concentrations of groundwater, which include Ca, Mg, Na, K, CaCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Cl, NO<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub>, and HCO<sub>3</sub> at the Science Research and Development Laboratory, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Hasanuddin University.

Resistivity measurements were carried out in the field using the Schlumberger configuration geoelectric method at 23 points. The measured resistivity data was then processed with Res2DInv Software, and the log results from each point were used to create iso-resistivity maps at depths of 3, 9, 18, 30, 45, and 57 meters. With the help of GIS applications, iso-resistivity maps of these 23 points are combined to display the distribution of seawater intrusion.

The results showed that physico-chemical parameters such as salinity, conductivity, DO, ORP, and pH of shallow groundwater indicated the presence of brackish to saltwater. Salinity values varied between 12.9‰ to 46.3‰ with an average of 27.61‰, indicating that shallow groundwater had been contaminated by salt water. Based on the measurement of resistivity, it was found that the iso-resistivity value was 0-5  $\Omega$ m, which is interpreted as a layer of salty-brackish water scattered over the study area at a depth of 3 to 57 meters.

In conclusion, based on the geochemical characteristics and physical properties of groundwater, the western part of Makassar City has experienced seawater intrusion. The seawater intrusion delineation model shows that seawater intrusion has spread in the areas of Tamalanrea, Ujung Tanah, Tallo, Wajo, Bontoala, Panakukang, Makassar, Rappocini, Mariso, Mamajang, and parts of Tamalate District, covering about 56.07% of the study area at a depth of 3 to 57 meters.

**Keywords:** *Aquifer, Degradation, Geochemistry, Seawater intrusion, Makassar City*

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN.....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1. 1. Latar Belakang .....	1
1. 2. Rumusan Masalah .....	3
1. 3. Tujuan Penelitian.....	4
1. 4. Kegunaan Penelitian.....	4
1. 5. Ruang Lingkup Penelitian .....	4
1. 6. Kebaruan Penelitian .....	4
<b>BAB II KERANGKA KONSEPTUAL DAN HIPOTESIS PENELITIAN.....</b>	<b>6</b>
2. 1. Kerangka Konseptual .....	6
2. 2. Hipotesis penelitian .....	7
<b>BAB III INTRUSI AIR LAUT DAN KUALITAS AIR TANAH BERDASARKAN DATA GEOKIMIA DAN SIFAT FISIK AIR TANAH DANGKAL DI BAGIAN BARAT KOTA MAKASSAR .....</b>	<b>20</b>
3. 1. Abstrak.....	20
3. 2. Pendahuluan .....	21
3. 2. 1 Lokasi dan Waktu Penelitian .....	22
3. 2. 2 Metode Pengumpulan Data.....	23
3. 2. 3 Metode Analisis Data.....	25
3. 3. Hasil dan Pembahasan.....	28
3. 3. 1 Geologi Regional .....	28
3. 3. 2 Sifat Fisik Air Tanah .....	32
3. 3. 3 Hidrogeokimia .....	45
3. 3. 4 Elevasi dan Aliran Air Tanah .....	51
3. 4. Kesimpulan.....	54

3. 5. Daftar Pustaka .....	54
<b>BAB IV DELINEASI INTRUSI AIR LAUT MENGGUNAKAN METODE RESISTIVITAS PADA AKUIFER DANGKAL DI MAKASSAR BARAT ....</b>	<b>56</b>
4. 1. Abstrak.....	56
4. 2. Pendahuluan .....	57
4. 3. Metode.....	59
4. 4. Hasil dan Pembahasan.....	61
4. 5. Kesimpulan.....	75
4. 6. Daftar Pustaka .....	75
<b>BAB V PEMBAHASAN UMUM .....</b>	<b>77</b>
5. 1. Model Deliniasi Intrusi Air Laut Kota Makassar .....	77
5. 2. Intrusi Air Laut dan Proses Geohidrology ..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5. 3. Intrusi Air Laut dan Faktor Antropogenik Kota Makassar.....	92
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN REKOMENDASI.....</b>	<b>99</b>
6. 1. Kesimpulan.....	99
6. 2. Rekomendasi .....	100
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>101</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>80</b>

**DAFTAR TABEL**

Nomor

Halaman

Tabel 1. Kriteria kualitas air berdasarkan kadar oksigen terlarut (Dissolved Oxygen).....	26
Tabel 2. Kriteria penilai kualitas air berdasarkan salinitas .....	26
Tabel 3. Kriteria nilai Total Dissolved Solids/TDS hubungannya dengan salinitas .....	26
Tabel 4. Klasifikasi air tanah berdasarkan nilai DHL dan ion Cl.....	26
Tabel 5. Klasifikasi airtanah berdasarkan nilai pH .....	26
Tabel 7. Konsentrasi ion mayor airtanah pada daerah penelitian.....	46
Tabel 8. Penggunaan air tanah dari Kegiatan Domestik di Kota Makassar .....	94
Tabel 9. Penggunaan air tanah dari Kegiatan Usaha di Kota Makassar.....	95

## DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
Gambar 1. Kerangka konseptual penelitian .....	7
Gambar 2. Peta titik 77 titik sampling air sumur .....	25
Gambar 3. Peta Geologi Kota Makassar (Sukamto & Supriatna, 1982).....	30
Gambar 4. Blok - Diagram Penampang Geologi Kotamadya Makassar (Hehanussa., 1993).....	32
Gambar 5. Sebaran spasial intrusi air laut berdasarkan nilai TDS.....	33
Gambar 6. Persentase jumlah sumur yang memiliki sifat air payau pada sumur penduduk.....	34
Gambar 7. Sebaran spasial air tanah berdasarkan salinitas.....	35
Gambar 8. Sebaran spasial air tanah berdasarkan nilai DHL.....	36
Gambar 9. Sebaran nilai Dissolved Oxygen (DO) daerah penelitian .....	38
Gambar 10. Sebaran nilai Oxygen Reduction Potential (ORP) daerah penelitian	39
Gambar 11. Sebaran spasial pH daerah penelitian.....	41
Gambar 12. Peta potensi sebaran intrusi air laut berdasarkan sifat fisika air tanah .....	44
Gambar 13. Kadar salinitas pada beberapa stasiun pengamatan.....	45
Gambar 14. Diagram trilinear piper di lokasi penelitian.....	47
Gambar 15. Diagram Stiff di lokasi penelitian .....	49
Gambar 16. Diagram Gibss lokasi penelitian .....	50
Gambar 17. Elevasi Muka Air Tanah .....	52
Gambar 18. Peta Elevasi dan Aliran Air Tanah.....	53
Gambar 19. Peta lokasi pengukuran resistivitas .....	60
Gambar 20. Inversi geolistrik resistivitas lintasan 1 ~ 6.....	62
Gambar 21. Peta Iso-resitivity pada kedalaman 3 m.....	64
Gambar 22. Peta Iso-resitivity pada kedalaman 9 m.....	65
Gambar 23. Peta Iso-resitivity pada kedalaman 18 m.....	66
Gambar 24. Peta Iso-resitivity pada kedalaman 30.....	67
Gambar 25. Peta Iso-resistivity pada kedalaman 45 m.....	68
Gambar 26. Peta Iso-Resistivitas pada kedalaman 57 m .....	69
Gambar 27. Peta 3D Delinias Ditribusi Intrusi Air Laut di Bagian Barat Kota Makassar .....	70
Gambar 28. Deliniasi Intrusi Air Laut Berdasarkan Resultante Layer Resistivity	72
Gambar 29. Peta Ditribusi Air Terjebak (connate water) di Bagian Barat Kota Makassar .....	74
Gambar 30. Intrusi Air Laut Kota Makassar Berdasarkan Resultante Sifat Fisika Air Tanah dan Resistivity .....	84
Gambar 31. Tingkat Intrusi Air Laut Berdasarkan Indeks Pencemaran.....	86
Gambar 32. Grafik Persentase Tingkat Intrusi Air Laut Bagian Barat Kota Makassar.....	87
Gambar 33. Overlay Intrusi Air Laut dan Air Connate Kota Makassar.....	91
Gambar 34. Penggunaan air tanah di Kota Makassar .....	94

Gambar 35. Peta Hidrologi, pengambilan air tanah Kegiatan Usaha Kota Makassar .....	96
Gambar 36. Persentase penggunaan air tanah pada Kegiatan Usaha.....	97
Gambar 37. Persentase sumur bor untuk Kegiatan Usaha Berdasarkan kedalaman sumur .....	98
Gambar 38. Proyeksi penggunaan air tanah untuk Kegiatan Domestik dan Kegiatan Usaha di Kota Makassar berdasarkan Pertumbuhan Penduduk dan Kegiatan Usaha. ....	98

**DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1.	Peta – Peta.....	91
Lampiran 2.	Hasil Ananlisis Laboratorium .....	122
Lampiran 3.	Data Lapangan Geolistrik.....	136
Lampiran 4.	Data geokimia.....	159
Lampiran 5.	Titik Koordinat Gps Geodetik.....	162
Lampiran 6.	Dokumentasi Kegiatan Penelitian .....	161

## DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/Singkatan	Arti dan keterangan
2D	= 2 Dimensi
3D	= 3 Dimensi
I	= Arus Listrik
$\Delta V$	= Beda Potensial
Fe	= Besi
$\text{HCO}_3^-$	= Bikarbonat
CAT	= Cekungan Air Tanah
Conc	= <i>Concentration</i>
DAS	= Daerah Aliran Sungai
DHL	= Daya Hantar Listriik
Dkk	= Dan kawan-kawan
pf	= Densitas Air Tawar
ps	= Densitas Air Asin
DInSAR	= <i>Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar</i>
DEMNAS	= <i>Digital Evaluation Model National</i>
DO	= <i>Dissolved Oxygen</i>
EC	= <i>Electrical Conductivity</i>
K	= Faktor Geometri
GPS	= <i>Global Positioning System</i>
g/L	= Gram/Liter
Ha	= <i>Hectar</i>
$\text{H}^+$	= Hidrogen
IDW	= <i>Inverse Distance Weighted</i>
$\text{Ca}^{2+}$	= Kalsium
KUT	= Kanal Ujung Tanah
$\text{CO}_3^{2-}$	= Karbonat
KTI	= Kawasan Timur Indonesia
h	= Ketinggian Muka Air Tanah
z	= Kedalaman Interface Air Tawar – Air Asjn
Km	= Kilometer
$\text{Cl}^-$	= Klorida
$\sigma$	= Konduktivitas Listrik
A	= Luas Penampang
$\text{Mg}^{2+}$	= Magnesium
Mn	= Mangan
M	= Meter

mV	=	<i>MetersVolt</i>
ml	=	Mililiter
$\mu\text{S/cm}$	=	Mikrosiemen per Centimeter
Meq/L	=	<i>Milliequivalent</i> per Liter
Mg/L	=	Miligram per Liter
$\text{Na}^+$	=	Natrium
$\Omega\text{m}$	=	Ohm Meter
$\text{O}_2$	=	Oksigen
ORP	=	<i>Oxidation Reduced Potential</i>
L	=	Panjang
g	=	Percepatan Gravitasi
Permenkes	=	Peraturan Menteri Kesehatan
%	=	Persen
$\text{K}^+$	=	Potasium
pH	=	<i>Potential of Hydrogen</i>
Ppm	=	<i>Partpermillion</i>
R	=	Resistansi yang Diukur
ST	=	Stasiun
$\text{SO}_4^{2-}$	=	Sulfat
$\rho$	=	Tahanan Jenis
TDS	=	<i>Total Dissolve Solid</i>
WS	=	Wilayah Sungai
WHO	=	<i>World Health Organization</i>

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1. 1. Latar Belakang**

Kota adalah hasil rancangan manusia yang terus berkembang seiring waktu. Perkembangan kota dipengaruhi oleh kebutuhan masyarakat yang tinggal di dalamnya, serta cara mereka memanfaatkan lingkungan dan sumber daya alam sekitar. Proses pembangunan kota melibatkan berbagai aktivitas, seperti penggalian tanah untuk membangun fondasi bangunan, mengubah bentuk permukaan tanah untuk menciptakan ruang baru, dan memanfaatkan sumber daya bawah tanah seperti air tanah untuk memenuhi kebutuhan konstruksi (Pratesi et al., 2016).

Perkembangan kota tidak bisa dilepaskan dari suatu permasalahan yang dihadapi. Permasalahan dalam pembangunan kota sangat kompleks, mulai dari kemacetan, tekanan terhadap sumber daya alam, banjir, hingga limbah industri dan limbah antropogenik (Lin et al., 2021; Dijkstra et al., 2019). Perencanaan kota modern membutuhkan perspektif multidimensi yang harus mempertimbangkan aspek ekonomi, ekologi, dan struktur sosial, dengan prinsip-prinsip yang memastikan pembangunan berkelanjutan (Emre & Erbaş, 2020). Dalam perencanaan kota, aspek lingkungan, terutama terkait dengan kebencanaan, harus diperhatikan (Alizadeh et al., 2018). Salah satu bencana yang cukup penting untuk mendapatkan perhatian adalah bencana geologi. Bencana geologi tidak hanya menghambat jaminan keamanan ekologi di aglomerasi perkotaan, tetapi juga menimbulkan ancaman serius bagi kehidupan dan harta benda penduduk di daerah tersebut (Lin et al., 2021).

Kota Makassar adalah salah satu kota metropolitan di Indonesia sekaligus ibu kota Provinsi Sulawesi Selatan. Makassar merupakan kota terbesar keempat di Indonesia dan terbesar di Kawasan Timur Indonesia (KTI). Sebagai pusat pelayanan di KTI, Kota Makassar berperan sebagai pusat perdagangan dan jasa, kegiatan industri, pemerintahan, transportasi darat, laut, dan udara, serta

sebagai pusat pelayanan pendidikan dan kesehatan. Salah satu area di Kota Makassar yang menjadi pusat pembangunan adalah kawasan barat.

Koridor bagian barat hingga ke utara Kota Makassar, yang relatif lebih rendah dan dekat dengan pesisir pantai. Kota Makassar sendiri adalah hamparan daratan rendah dengan ketinggian antara 0 hingga 25 meter di atas permukaan laut, yang menyebabkan bagian barat kota sangat rentan terhadap genangan air dan intrusi air laut. Secara administrasi Kota Makassar mencakup 7 dari 15 kecamatan yang berbatasan langsung dengan pantai, yaitu Kecamatan Tamalate, Mariso, Wajo, Ujung Tanah, Tallo, Tamalanrea, dan Biringkanaya. Kawasan barat ini juga dilintasi oleh beberapa sungai, seperti Sungai Tallo dan Sungai Jeneberang, yang bermuara ke dalam kota.

Kawasan barat Kota Makassar, sebagai pusat kota, mengalami perkembangan dan pertumbuhan yang sangat pesat. Pemanfaatan ruang di kawasan barat Kota Makassar semakin masif dalam beberapa tahun terakhir. Kawasan ini telah berkembang menjadi pusat bisnis, industri, perhotelan, pariwisata, pemukiman, perkantoran, kuliner, rumah sakit, serta aktivitas bongkar muat barang dan pelelangan ikan. Penggunaan air tanah untuk memenuhi kebutuhan permukiman, dengan eksploitasi yang kurang mempertimbangkan daya dukung lingkungan, telah menyebabkan penurunan permukaan air tanah yang melebihi kapasitas produksi akuifer. Penelitian Haris (2018) menunjukkan bahwa, berdasarkan analisis data citra ALOS Palsar menggunakan teknik *Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar* (DInSAR) pada aplikasi ENVI Sarscape, terjadi penurunan tanah di Kota Makassar dengan rata-rata 0,73 cm/tahun dari 2007 hingga 2011.

Akuifer pesisir rentan terhadap salinisasi akibat intrusi air laut (Koffi et al., 2022; Alsehri et al., 2021). Intrusi air laut diakui sebagai ancaman yang semakin meningkat terhadap masyarakat pesisir di seluruh dunia, karena air laut mencemari air tanah dan menjadikannya tidak layak konsumsi. Tingkat intrusi terutama didorong oleh aktivitas antropogenik dan perubahan iklim. Fenomena ini menimbulkan risiko signifikan bagi lingkungan pesisir, terutama dengan

meningkatnya kebutuhan air tanah oleh penduduk di daerah pesisir perkotaan (Alhumimidi, 2020; Mora et al., 2020; Hasan et al., 2021; Xiang et al., 2021).

Intrusi air laut adalah proses geologis yang terjadi secara universal di sepanjang pesisir dataran akibat eksploitasi berlebihan air tanah atau laut (Chen et al., 2020). Dengan pertumbuhan populasi dan ekonomi yang terus meningkat di wilayah pesisir, terdapat kebutuhan untuk pemahaman yang lebih holistik mengenai tantangan lingkungan yang menyertainya guna memastikan keberlanjutan (Idowu & Lasisi, 2020). Berdasarkan hasil penelitian terhadap sumur-sumur penduduk di Pantai Barombong, Kecamatan Tamalate, Kota Makassar, teridentifikasi telah terjadi intrusi air laut berdasarkan nilai konduktivitas listrik (Yanti et al., 2016). Penelitian lain (Meyke, 2019) menunjukkan bahwa di Kelurahan Untia, Kota Makassar, telah terjadi intrusi air laut dengan tingkat rendah hingga sedang, menandakan bahwa Kota Makassar sangat rentan terhadap intrusi air laut.

Kerentanan wilayah pantai barat Kota Makassar terhadap intrusi air laut akan semakin meningkat dengan perubahan iklim, sehingga memerlukan upaya mitigasi yang mempertimbangkan pengelolaan geologi perkotaan dan penataan ruang serta konsep pembangunan berkelanjutan. Dalam rangka penyediaan data dan informasi pengelolaan bencana geologi Kota Makassar di masa depan, maka diperlukan penelitian tentang kualitas air tanah permukaan dan deliniasi intrusi air laut di bagian barat Kota Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia.

## **1. 2. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana sebaran intrusi air laut berdasarkan karakteristik dan sifat fisik-kimia dan resistivitas air tanah dangkal di bagian barat Kota Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia?
2. Bagaimana model intrusi air laut di bagian barat Kota Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia?
3. Bagaimana tingkat intrusi air laut di bagian barat Kota Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia?

### **1. 3. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan permasalahan yang telah dikemukakan, tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis secara mendalam sebaran intrusi air laut berdasarkan karakteristik dan sifat fisik-kimia air tanah dangkal di bagian barat Kota Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia
2. Membangun model fisik deliniasi intrusi air laut di bagian barat Kota Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia
3. Mendesain model tingkat intrusi air laut di bagian barat Kota Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia

### **1. 4. Kegunaan Penelitian**

Manfaat dari penelitian disertasi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi berupa model fisik dan tingkat intrusi air laut berdasarkan karakteristik dan sifat fisik-kimia serta resistivitas air tanah dangkal diharapkan dapat digunakan untuk merancang strategi mitigasi intrusi air laut di kawasan barat Kota Makassar, Sulawesi Selatan.

### **1. 5. Ruang Lingkup Penelitian**

Ruang lingkup penelitian ini meliputi:

1. Lingkup pengujian sifat fisik-kimia adalah distribusi air asin pada sumur permukaan dengan kedalaman dari 0 MSL sampai 3 meter, lingkup pengujian resistivitas adalah air asin pada kedalaman lebih besar dari 3 meter sampai 60 meter.
2. Lingkup wilayah adalah bagian barat Kota Makassar terdiri dari 8 kecamatan antara lain Kecamatan Ujung Tanah, Bontoala, Makassar, Mariso, Rappocini, Wajo Mamajang, dan Tamalate.
3. Lingkup metodologi penyusunan model deliniasi dan tingkat intrusi air laut berdasarkan distribusi air asin pada kedalaman 0-3 meter dan 3-60 meter dan sebaran kualitas air berdasarkan indeks pencemaran air asin.

### **1. 6. Kebaruan Penelitian**

Keterbaruan dari penelitian ini adalah :

1. Diperoleh model fisik deliniasi intrusi air laut secara vertikal dan lateral di bagian barat Kota Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia
2. Diperoleh tingkat intrusi air laut secara vertikal dan lateral di bagian barat Kota Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia

## **BAB II**

### **KERANGKA KONSEPTUAL, HIPOTESIS DAN METODOLOGI PENELITIAN**

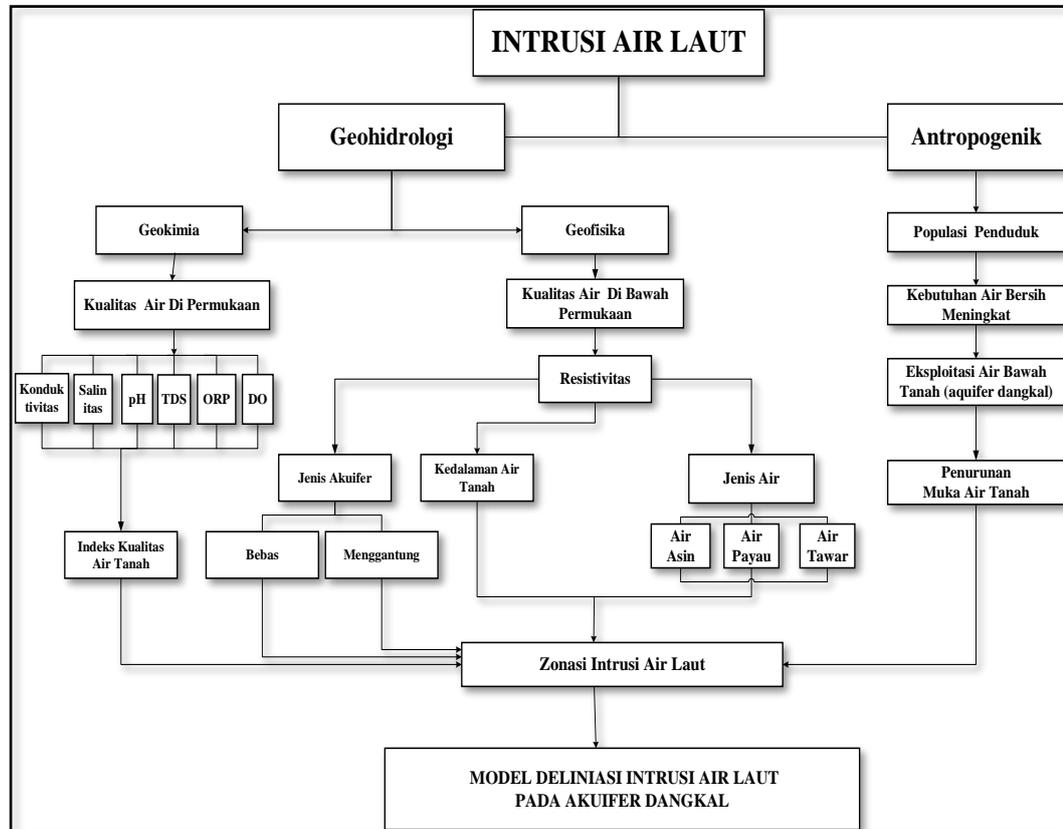
#### **2. 1. Kerangka Konseptual**

Intrusi air laut adalah proses masuknya air asin dari laut ke dalam lapisan air tanah yang mengandung air tawar. Fenomena ini umumnya terjadi di daerah pesisir dan dapat menyebabkan berbagai masalah lingkungan dan sosial. Dalam penelitian ini, penulis membatasi faktor-faktor penyebab intrusi air laut menjadi dua kategori utama: faktor antropogenik (aktivitas manusia) dan faktor geohidrologi (kondisi alam). Faktor antropogenik, seperti peningkatan populasi, menyebabkan peningkatan kebutuhan akan air bersih. Kebutuhan air bersih yang meningkat mendorong eksploitasi air tanah secara berlebihan. Pengambilan air tanah untuk kegiatan domestik dan usaha yang berlebihan menyebabkan penurunan elevasi muka air tanah, yang menciptakan ruang kosong yang kemudian diisi oleh air laut.

Faktor geohidrologi (kondisi alam) diidentifikasi menggunakan metode geofisika dan geokimia. Metode geofisika dengan *resistivity*, mengukur kedalaman dan jenis air tanah serta kemampuan batuan untuk menghantarkan arus listrik. Nilai resistivitas yang rendah mengindikasikan adanya kandungan garam yang tinggi. Metode geokimia untuk menganalisis indeks pencemaran antara lain salinitas atau tingkat keasaman air, pH atau derajat keasaman air, TDS (Total Dissolved Solids) atau jumlah total zat padat terlarut dalam air, ORP (Oxidation Reduction Potential) atau potensi oksidasi-reduksi yang menunjukkan kemampuan air untuk menerima atau melepaskan elektron, dan DO (Dissolved Oxygen) atau jumlah oksigen terlarut dalam air.

Melihat hal tersebut, penulis mengangkat topik penelitian tentang deliniasi intrusi air laut pada akuifer dangkal dengan pendekatan antropogenik dan geohidrologi. Penelitian ini, sebagaimana digambarkan dalam diagram kerangka konseptual, merupakan model yang digunakan untuk menganalisis secara mendalam karakteristik dan sebaran kualitas air tanah, membangun model fisik deliniasi dan tingkat intrusi air laut pada akuifer dangkal. Model ini sangat

penting untuk memahami sejauh mana intrusi air laut telah terjadi dan dapat digunakan untuk merancang strategi mitigasi yang tepat.



Gambar 1. Kerangka konseptual penelitian

## 2. 2. Hipotesis penelitian

Hipotesis dari penelitian ini adalah terjadi penurunan kualitas air tanah pada akuifer dangkal di bagian barat Kota Makassar oleh masuknya air laut maupun air terjebak (*connate*) akibat eksploitasi air tanah maupun *back water*, yang menyebabkan air tanah menjadi payau-asin menyebar secara vertikal dan horizontal.

### 2.2.1 State of the Art

Beberapa peneliti yang telah melakukan kajian di daerah Makassar, baik dari aspek geologi, sedimentasi, intrusi air laut, hingga penurunan muka air tanah. Penelaahan kondisi geologi lokasi pantai barat Kota Makassar baik di permukaan maupun bawah permukaan didasarkan pada data sekunder (Muliadi, 1982). Berdasarkan Peta Geologi Lembar Ujung Pandang, Benteng dan Sinjai

(Rab Sukamto dan Supriatna, 1982), dan Gambar 3 Blok-Diagram penampang geologi Kota Makassar (Hehanussa, dkk; 1983), dimana skala vertikal jauh lebih besar daripada skala horizontal, digambarkan batuan alas yang membentuk cekungan yang diisi oleh endapan dari Sungai Tallo dan Sungai Jeneberang sehingga terbentuk Delta di muara Sungai Jeneberang dan Teluk Losari. Daerah studi ditutupi oleh jenis batuan kuartar, yaitu endapan aluvium. Secara regional endapan ini merupakan endapan aluvial yang menumpang tidak selaras di atas batuan alas Batuan Gunungapi Baturape - Cindako (Tpbv). Batuan alas ini kompak, keras dan mempunyai daya dukung lebih besar dari  $200 \text{ kg/cm}^2$  (Muliadi, 1982).

Imran et al. (2009), intrusi air laut ke dalam air tanah dangkal di Kota Makassar secara umum telah mencapai tingkat sedang, terutama di bagian tengah kota. Wilayah ini memiliki litologi yang terdiri dari aluvial (sungai dan rawa) dan juga terdapat sistem aliran permukaan seperti sungai dan drainase, yang memungkinkan air laut masuk ke daratan melalui saluran-saluran tersebut. Di sisi lain, wilayah yang belum terkena dampak intrusi air laut meliputi sekitar muara Sungai Jeneberang dan bagian timur Biringkanaya. Akuifer di sebelah utara Kota Makassar terdiri dari endapan rawa/pantai, di sebelah selatan dari endapan sungai, dan di bagian timur dari batuan vulkanik, kondisi intrusi air laut ke dalam air tanah dangkal Kota Makassar mencapai kategori sedang yang meliputi bagian tengah kota. Factor geologi yang mendukung adanya intrusi air laut adalah litologi berupa aluvial (sungai dan rawa) dan sistem aliran permukaan (sungai dan drainase) yang memungkinkan masuknya air laut ke daratan melalui aliran permukaan tersebut.

Berdasarkan hasil penelitian terhadap sumur-sumur penduduk di Pantai Barombong Kecamatan Tamalate, Kota Makassar, diketahui bahwa telah terjadi intrusi air laut berdasarkan nilai konduktivitas listrik (Yanti et al., 2016). Hasil penelitian (Meyke, 2019), menyatakan bahwa daerah kelurahan Untia Kota Makassar sudah terjadi instrusi air laut rendah-sedang dan Kota Makassar sangat rentan terhadap intrusi air laut.

Hasil penelitian Haris (2018) menunjukkan bahwa berdasarkan hasil analisis data citra ALOS Palsar menggunakan teknik *Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar* (DInSAR) pada aplikasi ENVI *Sarscape*, telah terjadi penurunan tanah di Kota Makassar rata-rata 0,73 cm / tahun dari 2007-2011. Musryida, Z. (2019). Pengaruh Intrusi Air Laut terhadap Kualitas Air Tanah di Sekitar Kanal Pannampu\_jongaya, Makassar, Tesis, Sekolah Pascasarjana, Universitas Hasanuddin.

Menurut data dari Dinas ESDM Provinsi Sulawesi Selatan, hingga tahun 2023, terdapat 21 jenis usaha di Kota Makassar yang telah memiliki Surat Izin Pemanfaatan Air Tanah (SIPA) untuk penggunaan air tanah dalam kegiatan usaha mereka. Jumlah ini mencakup 166 kegiatan usaha, termasuk perusahaan dan instansi pemerintah. Total sumur bor yang digunakan dalam kegiatan usaha di Kota Makassar mencapai 152 sumur. Penggunaan air dari sumur bor pada tahun 2023 tercatat sebesar 1.135.296 m<sup>3</sup> dan diperkirakan akan meningkat menjadi 5.499.553 m<sup>3</sup> pada tahun 2053. Tingginya konsumsi air bersih dari sumur pompa disebabkan oleh pertumbuhan penduduk yang pesat di lokasi penelitian akibat pengembangan wilayah Kota Makassar. Dengan pertumbuhan jumlah penduduk Kota Makassar yang mencapai 0,6% per tahun (BPS Kota Makassar, 2023). Penelitian yang dilakukan oleh Langkoke (2023), bahwa evolusi delta Sungai Jeneberang dipengaruhi aliran sungai dan pasang surut air laut yang berinteraksi dalam jangka waktu yang lama.

### **2.2.2 Definsi operasional**

Definisi operasional dalam penelitian ini adalah :

1. Model konseptual dalam hidrogeologi adalah suatu representasi deskriptif dari sistem air tanah yang menggabungkan interpretasi kondisi geologi dan kondisi hidrologi
2. Delineasi adalah penggambaran hal penting dengan menggunakan garis dan lambang, dalam mengidentifikasi dan mengukur wilayah-wilayah yang berbeda, menggambarkan, mengidentifikasi, atau menetapkan batasan dan karakteristik dari suatu area atau fitur dalam peta atau gambar.

3. Intrusi air laut adalah fenomena di mana air laut masuk ke dalam sumber air tawar, seperti akuifer (cadangan air tanah) atau sungai. Ini biasanya terjadi di daerah pesisir di mana akuifer tidak dapat lagi menahan tekanan dari air tawar yang masuk, sehingga air laut mulai meresap ke dalam sistem air tawar.
4. Akuifer adalah lapisan atau formasi geologis yang mampu menyimpan dan mengalirkan air tanah
5. Akuifer dangkal adalah jenis akuifer yang terletak di dekat permukaan tanah dan biasanya memiliki kedalaman beberapa meter hingga puluhan meter dari permukaan tanah, tergantung pada kondisi geologis lokal.
6. Bagian Barat Kota Makassar beberapa kecamatan di bagian barat Kota Makassar, termasuk Ujung Tanah, Bontoala, Makassar, Mariso, Rappocini, Wajo, Mamajang, dan Tamalate.
7. Kontaminasi air asin adalah terdapatnya parameter kunci sifat fisiki-kimia air tanah berupa DHL, kadar garam dan TDS yang mengindikasikan air payau-asin.
8. Intrusi air tanah dangkal adalah masuknya air asin ke air tawar pada kedalaman terdapatnya parameter kunci berupa nilai resistivitas 0-5 ohm yang mengindikasikan air payau-asin.
9. Air permukaan adalah air yang terdapat pada kedalaman 0-3 meter.
10. Air tanah dangkal adalah air yang terdapat pada kedalaman 3-60 meter.
11. Model fisik adalah suatu representasi yang nyata dan skala kecil dari suatu sistem atau struktur yang lebih besar. Dalam konteks yang berbeda, model fisik dapat digunakan untuk menggambarkan berbagai fenomena model yang digunakan dalam penelitian air tanah untuk memahami karakteristik hidrogeokimia dan interaksi antara air dengan batuan.
12. Air terjebak, juga dikenal sebagai air konata (*connate*), adalah air tanah yang terperangkap dalam batuan selama ribuan tahun hingga jutaan tahun. Air ini sering disebut air purba karena telah terperangkap dalam waktu yang sangat panjang, sehingga ter-mineralisasi secara sempurna. Air konata tidak dapat bergerak secara bebas dan biasanya tidak berinteraksi

langsung dengan lingkungan permukaan, sehingga memiliki sifat kimia yang stabil dan khas.

13. Digram Stiff adalah diagram untuk mengkorelasikan kualitas air tanah secara tegak pada suatu lubang bor atau secara mendatar pada akuifer yang sama. Dengan demikian, dapat dilihat perkembangan ion-ion dalam air tanah dan diketahui tipe air tanah berdasarkan kation dan anion yang dominan
14. Diagram Piper adalah diagram yang digunakan untuk mengetahui sumber dan proses yang terjadi pada air tanah untuk memperoleh informasi tentang geologi yang dilalui oleh air tanah, sumber kontaminasi, dan kelayakan air untuk konsumsi manusia
15. Diagram Gibbs adalah alat penting dalam analisis hidrogeokimia untuk memahami sifat kimia air tanah dan menentukan sumber utama kandungan kimia terlarut dalam air.
16. Indeks Pencemaran adalah angka yang digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran relatif terhadap parameter kualitas air yang diizinkan.
17. Kanal adalah saluran yang menerima beban limpasan.
18. Indeks Pencemaran adalah angka yang digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran relatif terhadap parameter kualitas air yang diizinkan.
19. Indeks Kualitas Air Laut yang selanjutnya disingkat IKAL adalah suatu nilai yang menggambarkan kondisi kualitas air laut yang merupakan nilai komposit dari beberapa parameter kualitas air laut dalam suatu wilayah pada waktu tertentu.
20. Indeks Kualitas Air yang selanjutnya disingkat IKA adalah suatu nilai yang menggambarkan kondisi kualitas air yang merupakan nilai komposit parameter kualitas air dalam suatu wilayah pada waktu tertentu.
21. Lingkungan Hidup adalah kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan, dan makhluk hidup, termasuk manusia dan perilakunya, yang mempengaruhi alam itu sendiri, kelangsungan perikehidupan, dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lain.

### 2.2.3 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di bagian barat Kota Makassar untuk mendelineasi intrusi air laut dengan pendekatan multidisiplin. Selain mengkaji karakteristik fisik, kimia, dan resistivitas air tanah, penelitian ini juga memperhatikan aspek antropogenik, termasuk kebutuhan masyarakat terhadap air tanah, kualitas air sumur, dan proyeksi penggunaan air tanah di masa depan. Teknik pengumpulan data, pengolahan, dan analisis data dilakukan secara komprehensif untuk mengembangkan model fisik delineasi dan tingkat intrusi air laut pada daerah penelitian.

#### 2.2.3.1 Teknik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan dari berbagai sumber, baik dari survei lapangan maupun literatur terkait. Kegiatan utama pengumpulan data meliputi:

1. Tanya Jawab dengan Masyarakat

Survei dilakukan untuk mengumpulkan informasi terkait penggunaan air sumur, kebutuhan air tanah, dan persepsi masyarakat terhadap kualitas air tanah. Data ini kemudian dilengkapi dengan data SIPA ESDM mengenai izin pemanfaatan air tanah, serta referensi dari peneliti terdahulu dan studi literatur yang relevan dengan intrusi air laut dan kualitas air tanah.

2. Pengambilan Sampel Air Tanah

Pengambilan sampel air tanah dilakukan secara acak dari 77 sumur penduduk. Pengukuran cepat dilakukan menggunakan Digital Instruments Lutron YK-2001 PHA untuk parameter conductivity, salinitas, pH, DO, ORP, dan TDS. Penggunaan GPS Geodetik Gintec G30 dan water level meter di 35 titik digunakan untuk menentukan koordinat dan elevasi air tanah. Selain itu, dilakukan pengambilan sampel secara purposive di 17 sumur untuk uji ion mayor yang meliputi Ca, Mg, Na, K,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ , Cl,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{CO}_3$ , dan  $\text{HCO}_3$ .



Gambar 2. Pengambilan sampel air tanah permukaan untuk pengujian kimia-fisik

### 3. Pengukuran Elevasi Air Tanah dan Geolistrik Resistivitas

Elevasi air tanah diukur untuk mengetahui perubahan ketinggian muka air tanah. Sementara itu, pengukuran geolistrik tahanan jenis dilakukan di 6 lintasan untuk menentukan jenis air tanah (asin, payau, atau tawar) serta kedalaman akuifer. Data resistivitas diolah menggunakan perangkat lunak Res2DInv untuk menghasilkan interpretasi resistivitas secara vertikal dan horizontal.



Gambar 3. pengukuran geolistrik tahanan jenis



Gambar 4. Kegiatan pengukuran elevasi muka air tanah

#### 2.2.3.2 Pengolahan dan Analisis Data

##### 1. Analisis Fisika-Kimia Air Tanah

Sebanyak 77 sampel air tanah dianalisis untuk parameter fisik dan kimia, yang kemudian divisualisasikan dalam bentuk peta untuk conductivity, pH, salinitas, DO, ORP, dan TDS. Selain itu, 17 sampel air tanah diuji untuk parameter ion mayor (Ca, Mg, Na, K,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ , Cl,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{CO}_3$ , dan  $\text{HCO}_3$ ). Data ini kemudian dianalisis menggunakan Diagram Piper untuk menentukan fasies hidrogeokimia, Diagram Stiff untuk mengidentifikasi kation dan anion dominan, serta Diagram Gibbs untuk memahami sumber utama kandungan kimia terlarut dalam air tanah.

##### 2. Analisis Geolistrik Resistivitas

Data resistivitas dari 6 lintasan dianalisis untuk mengetahui jenis air tanah (asin, payau, atau tawar) serta kedalaman akuifer. Hasil pengolahan resistivitas ini disajikan dalam log resistivitas untuk setiap titik, yang kemudian dikorelasikan menjadi 6 lintasan (2D). Dari hasil interpretasi ini, dibuat garis iso-resistivitas pada kedalaman 3, 9, 18, 30, 45, dan 57 meter, yang kemudian divisualisasikan dalam bentuk peta 3 dimensi dengan menggunakan ArcGIS 10.3 untuk menampilkan bentuk intrusi air laut.

##### 3. Analisis Antropogenik

Pengaruh aktivitas manusia terhadap intrusi air laut dianalisis dengan mengumpulkan data mengenai jumlah penduduk, penggunaan air tanah domestik

(berdasarkan standar WHO), serta kegiatan usaha dan debit optimum yang digunakan. Data ini juga digunakan untuk membuat proyeksi pertumbuhan penduduk dan kebutuhan air tanah selama 30 tahun ke depan (BPS, 2023). Kedalaman penggunaan air tanah didasarkan pada Data DESDM Sulsel 2024.

#### 4. Analisis Stratigrafi

Berdasarkan Sandi Stratigrafi Indonesia, pembagian satuan batuan didasarkan pada satuan litostratigrafi tidak resmi, yaitu penamaan satuan batuan yang berdasarkan pada ciri fisik batuan yang dapat diamati di lapangan meliputi jenis batuan, keseragaman gejala litologi dan posisi stratigrafinya, sedangkan penentuan batas penyebarannya harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Batas satuan litostratigrafi adalah bidang sentuh antara dua satuan yang berlainan ciri litologinya.
2. Batas satuan ditempatkan pada bidang yang nyata perubahan litologinya atau bila perubahan tersebut tidak nyata, maka batasnya merupakan bidang yang diperkirakan kedudukannya.
3. Penyebaran satuan litostratigrafi semata-mata ditentukan oleh kelanjutan ciri-ciri litologi yang menjadi ciri penentunya.
4. Dari segi praktis, penyebaran satuan litostratigrafi dibatasi oleh batas cekungan pengendapan atau aspek geologi lain.
5. Batas-batas hukum tidak boleh dipergunakan sebagai alasan berakhirnya penyebaran lateral (pelamparan) suatu batuan.
6. Penamaan satuan litostratigrafi didasarkan atas jenis litologi yang paling dominan dalam satuan tersebut.

#### 5. Analisis spasial

Analisis spasial dilakukan untuk memetakan distribusi kedalaman dan luasan intrusi air laut, elevasi muka air tanah, arah aliran air tanah, serta kualitas air tanah. Data ini menjadi dasar untuk menyusun rekomendasi mitigasi yang bertujuan untuk mengurangi dampak intrusi air laut di kawasan pesisir.

## 6. Analisis Indeks pencemaran Air

Indeks pencemaran air tanah adalah suatu ukuran atau indikator yang digunakan untuk menilai tingkat pencemaran pada sumber air tanah. Indeks ini mempertimbangkan berbagai parameter, seperti konsentrasi zat pencemar (seperti bahan kimia, logam berat, atau mikroba). Pada disertasi ini acuan yang digunakan adalah Permen LHK No. 27 Tahun 2021 Tentang Indeks Kualitas Lingkungan Hidup

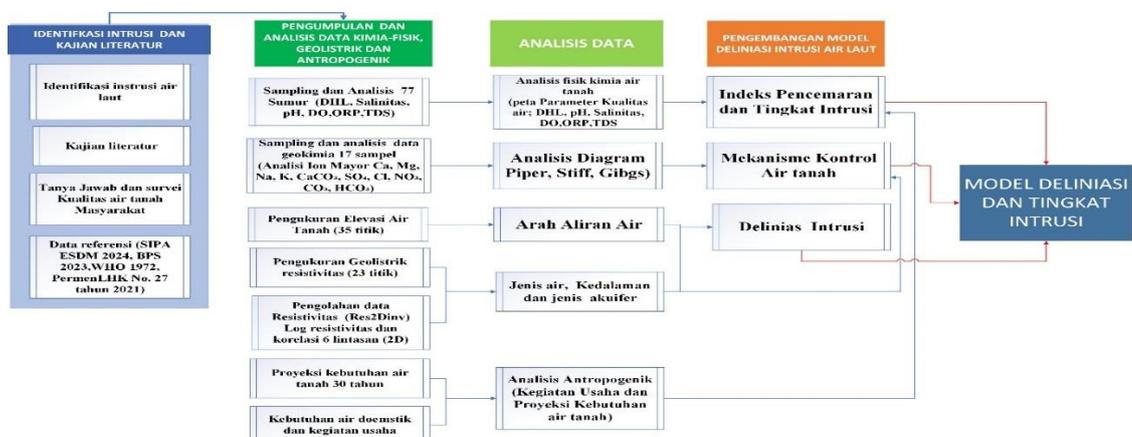
## 7. Analisis *Deliniasi Intrusi Air Laut dan Air Connate*

Keseluruhan data baik data kimia-fisik air, tahanan jenis, dan indeks pencemaran air tanah kemudian dikompilasi untuk membangun model fisik intrusi air asin dan air connate di wilayah barat Kota Makassar

### 2.3.3.3 Tahap Penyusunan Disertasi

Pada tahap ini hasil penelitian disajikan dalam bentuk laporan. Pada laporan ini, disertakan juga analisis kondisi geologi (regional dan lokal), kimia-fisik air, tahanan jenis dan indeks pencemaran yang menunjang kelengkapan data pada penelitian ini. Pada tahapan ini keseluruhan data hasil pengolahan dan analisis dituangkan dalam bentuk tulisan yang saling mendukung antara satu aspek dengan aspek lainnya.

Diagram Alir Penelitian dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5 : Diagram Alir Penelitian

#### 2.2.3.4 Objek Penelitian

Pada penelitian ini yang menjadi objek antara lain adalah:

1. Aspek geologi (stratigrafi yang meliputi unsur litologi dan lingkungan pengendapan, dan struktur geologi)
2. Aspek fisik-kimia air tanah permukaan
3. Aspek Resistivitas air tanah bawah permukaan
4. Aspek kualitas air tanah dan indeks pencemaran air laut
5. Aspek antropogenic

#### 2.2.4 Peralatan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini antara lain adalah:

1. Alat lapangan berupa peta dasar, palu, kompas, gps, botol plastik sampel air, *clipboard*, alat tulis dan buku catatan lapangan.
2. Alat Survei topografi berupa *Geodetik Gintec G30* dan *Water level meter Solinst*.
3. Pengujian kualitas air dengan *Digital Instruments Lutron YK-2001 PHA*
4. Botol polyethylene 500 ml, *electrical conductivity* (EC) atau DHL (*Conductivity*) meter portable, aquades, coolbox, water sampler.
5. Alat *Resistivity meter (Nanniura NRD 22 S)* untuk pengukuran tahanan jenis, jenis air dan kedalaman.

#### 2.4 Sistematika Penulisan

Disertasi ini disusun menurut panduan dari Panduan penulisan Karya Ilmiah Tesis/Disertasi mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Panduan Rev.1. Susunan disertasi ini disusun menurut sistematika sebagai berikut:

**Bab I Pendahuluan**, Pada Bab ini berisi: latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta ruang lingkup penelitian

**BAB II Kerangka Konseptual, Hipotesis Dan Metodologi Penelitian.** Pada Bab ini dibahas berupa: bagaimana membuat analisis agar penelitian lebih

terstruktur yang dibuat dalam bentuk kerangka konseptual penelitian, hipotesis sebagai dugaan awal dan metodologi yang digunakan. Pada tiap bagian tertentu diuraikan metode yang lebih praktis terhadap hasil-hasil penelitian.

**BAB III Intrusi Air Laut Dan Kualitas Air Tanah Berdasarkan Data Geokimia Dan Sifat Fisik Air Tanah Dangkal Di Bagian Barat Kota Makassar.** Pada Bab ini dibahas berupa: Pendahuluan, Lokasi dan Waktu Penelitian, Metoda Pengumpulan Data, Metode Analisis Data, Hasil dan Pembahasan yang bersisi: geologi regional, Geologi daerah penelitian, Sifat fisik air tanah (TDS, *Conductivity*, Oksigen terlarut (DO) dan *Oxidation Reduction Potential* (ORP), Derajat Keasaman (pH), Indeks Pencemaran Air Tanah, Sebaran Potensi Intrusi Air Laut Berdasarkan Sifat Fisik Air, Hidrogeokimia, Elevasi dan Aliran Air Tanah, Kesimpulan dan Daftar Pustaka. Topik ini telah dibuat dalam bentuk jurnal dengan judul: “*Seawater Intrusion and Groundwater Quality Based on Geochemical Data and Physical Properties of Shallow Groundwater in the Western Part of Makassar City, South Sulawesi Province, Indonesia. The international confrence on marine research technology (ICOMAREST) 2023 (Accepted)* di IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science (GIESED-2023-1134-012034)

**Bab IV Delineasi Intrusi Air Laut Menggunakan Metode Resistivitas Pada Akuifer Dangkal Di Makassar Barat.** Topik ini adalah kelanjutan dari topik pertama yang lebih difokuskan Deliniasi intrusi air laut menggunakan metoda geolistrik tahanan jenis. Pada Bab ini terdiri atas: abstrak, pendahuluan, metode penelitian, hasil dan pembahasan yang meliputi wilayah yang nmengalami intrusi air laut berdasarkan data geolistrik tahanan jenis, kesimpulan dan daftar pustaka). Tulisan pada Pada Bab IV ini dipublikasikan pada jurnal internasional/nasional bereputasi scopus dengan judul *Deliniation of Seawater Intrusion Using Geoelectric Resistivity Method in Shallow Aquifer in Western Part of Makassar, South Sulawesi, Indonesia, the Iraqi Geological Journal (IGJ), volume 57, No.2D. Year 2024. (published)*

**Bab V Pembahasan Umum:** Topik akhir dari disertasi ini adalah model Deliniasi Intrusi Air Laut Kota Makassar. Topik ini disusun berdasarkan

informasi dari data-data dari topik sebelumnya. Pada bagian ini dibahas secara umum intrusi air laut dari data kimia-fisika, Indeks Pencemaran air asin, Intrusi Air Laut dan Proses Geohidrology, Intrusi Air Laut dan Faktor Antropogenik Kota Makassar, dan Daftar Pustaka. Tulisan pada Pada Bab V ini dipublikasikan pada jurnal international/nasional bereputasi.